รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

A Study of Preparation of Absorbed Polymers for Reactive Dyes Removal in Textile Wastewater

โดย นางสาวบุญศรี ตู้ธุชธรรม

กันยายน พ.ศ. 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ
การศึกษาวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

A Study of Preparation of Absorbed Polymers for Reactive Dyes Removal in Textile Wastewater

โดย นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม

กันยายน พ.ศ. 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

A Study of Preparation of Absorbed Polymers for Reactive Dyes Removal in Textile Wastewater

คณะผู้วิจัย

นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม

สังกัด

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
กรุงเทพ

สนับสนุนโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2548

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ จุดประสงค์ของการศึกษาเพื่อเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

พอลิเมอร์ดูดซับเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์ (AM) และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (MAPTAC) โดยใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา เอ็น,เอ็น′-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์ (MBAM) เป็นสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) และ เอ็น, เอ็น, เอ็น′, เอ็น′-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน (TMEDA) เป็นตัวเร่งสารเชื่อมขวาง (accelerator) ตามลำดับ

ผลจากการศึกษาพบว่า สารเชื่อมขวางมีอิทธิพลต่อลักษณะและสมบัติการพองตัว อัตราส่วนระหว่าง AM และ MAPTAC มีผลต่อสมบัติการพองตัวและการดูดซับของพอลิเมอร์ อัตราส่วนระหว่าง AM : MAPTAC เท่ากับ 0.4 : 0.6 หรือ 2 : 3 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด ซึ่งกำจัดสีในน้ำทิ้งได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงถูกดูดซับได้ดีกว่าสีน้ำเงินและสีเหลือง

ABSTRACT

The preparation of absorbed polymer was studied. The objective was to prepare absorded polymer and use to remove reactive dyes from textile wastewater.

The absorbed polymer was prepared by the reaction between acrylamide (AM) and 3-(methacrylamido) propyl trimethyl ammonium chloride (MAPTAC) using potassium persulfate as initiator, *N,N'*-methylenebisacrylamide (MBAM) as crosslinking agent and *N,N,N',N'*-tetramethyl ethylenediamine (TMEDA) as accelerator, respectively.

It was found that crosslinking agent had effect on the characteristic and swelling properties. The ratio between AM and MAPTAC also effect on swelling and absorption properties of polymer. The ratio of AM : MAPTAC = 0.4 : 0.6 or 2 : 3 was the best ratio that give dye removal of more than 90% from wastewater. The red reactive dye was absorbed better than blue and yellow dyes.

สารบัญเรื่อง

หน้า

สารบัญตาราง

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
4.25	การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6	41
4.26	การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8	41
4.27	การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4	42
4.28	การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0 : 1	42
4.29	เปรียบเทียบสมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ	43
4.30	ร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์	43
4.31	ลักษณะน้ำสีเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง	45
4.32	การเปลี่ยนแปลงของสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์	45
4.33	ลักษณะของพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง	45
4.34	การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6	46
4.35	การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8	46
4.36	การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4	47

สีรีแอกทีฟเป็นสีย้อมที่ก่อให้เกิดปัญหากับน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากสีรีแอกทีฟละลายน้ำได้ดี และไม่สามารถกำจัดโดยระบบชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Nemerow 1978 : 92)

สีที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมสามารถเห็นได้ง่าย ปริมาณสีที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำและสังเกตเห็นได้คือ 0.1 - 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร (อังคณา ตุลย์ไตรรัตน์ 1997 : 34) ดังนั้น สีที่มีอยู่ในน้ำแม้ปริมาณเพียงเล็กน้อยจะทำให้เป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็น กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานประกอบกิจการสิ่งทอ โดยสีที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจะต้องไม่เป็นที่รังเกียจ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 2542 : 2) นอกจากนี้ สีที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจะดูดกลืนแสง ซึ่งทำให้แบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้เต็มที่ ซึ่งมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหาร (Strick and Perkins 2000 : 15 - 20)

โดยทั่วไปการกำจัดสีในน้ำทิ้งจะใช้วิธีการจับก้อน (coagulation) ซึ่งมีการใช้ตัวตกตะกอน (flocculation) ที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก (Kozhanov 1991 : 534) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ - เฟอร์ริกซัลเฟต (Schulz, Fiebig and Herlinger 1998 : 445) วิธีการอื่น ๆ ที่ใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งได้แก่ การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) การใช้โอโซน และวิธีทางเทคโนโลยีชีวภาพ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านกัมมันต์และโอโซนเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายสูง ส่วนวิธีชีวภาพจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีเมื่อสภาวะต่างๆ มีความเหมาะสม วิธีการดูดซับเป็นวิธีการที่น่าสนใจ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์ กับ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์
2. ศึกษาอิทธิพลของสารเชื่อมขวางที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซับ
3. ศึกษาสมบัติพอลิเมอร์ดูดซับที่ได้จากการเตรียม ดังนี้
   - 3.1 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน (functional groups) โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR)
   - 3.2 ศึกษาสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์
   - 3.3 ศึกษาสมบัติการดูดซับสีรีแอกทีฟของพอลิเมอร์
   - 3.4 ศึกษาสมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน
4. น้ำทิ้งที่ทำการศึกษาเป็นน้ำทิ้งที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลจากการวิจัยทำให้ได้วัสดุดูดซับชนิดใหม่เพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2. การศึกษาวิจัยจะเป็นแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

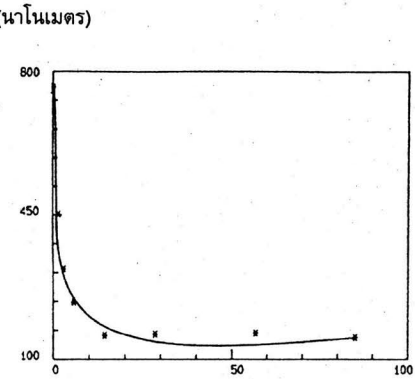
2.1 การเตรียมพอลิเมอร์ร่วมแบบแคตไอออนิก (Preparation of Cationic Copolymer)

การเตรียมอนุภาคของพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกที่ผิว สามารถเตรียมโดยปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันระหว่างสไตรีน บิวทิลอะคริเลต และเอ็น-ไดเมทิล, เอ็น-บิวทิล, เอ็น-เอทิลเมทาคริเลตแอมโมเนียมโบรมายด์ ซึ่งเป็นแคตไอออนิกมอนอเมอร์ อนุภาคที่เตรียมได้มีประจุที่ผิวในปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของแคตไอออนิกมอนอเมอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (Xu et al. 1997 : 1 - 9)

ตารางที่ 2.1 ความหนาแน่นประจุที่ผิวของอนุภาคพอลิเมอร์

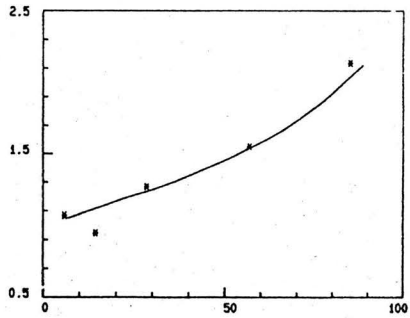
ปริมาณแคตไอออนิกมอนอเมอร์ (โมล/ลิตร)	ความหนาแน่นประจุที่ผิวของอนุภาค (ไมโครโมล/ตารางเมตร)
2.19	0.569
2.42	0.583
2.67	0.588
2.91	0.590

แวน สตรีอุน และคณะ (van Streum et al. 1991 : 931 - 937) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันระหว่างสไตรีนและแคตไอออนิกมอนอเมอร์ของ 3-(เมทาคริลามิดิโนโพรพิล) ไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (3-(methacrylamidinopropyl) trimethylammonium chloride) ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.1 - 2.2



ภาพประกอบที่ 2.1 ผลของความเข้มข้นของแคตไอออนิกมอนอเมอร์ที่มีต่อขนาดอนุภาค
ความเข้มข้นของสไตรีน = 0.72 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 60°C

ความหนาแน่นประจุ (ไมโครโมล/ตารางเมตร)



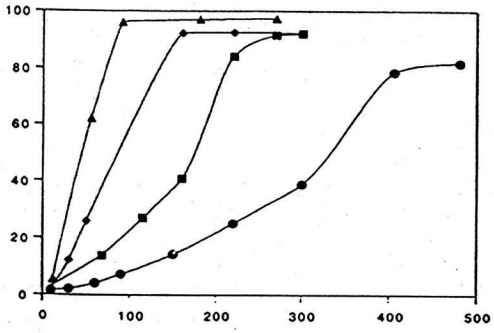
ความเข้มข้นของแคตไอออนิกมอนอเมอร์ (โมล/ลิตร) X 10^3

ภาพประกอบที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประจุที่ผิวของอนุภาคพอลิเมอร์กับความเข้มข้นของแคตไอออนิกมอนอเมอร์

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อความเข้มข้นของแคตไอออนิกมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น อนุภาคพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์มีขนาดเล็กลง เนื่องจากความหนาแน่นประจุบวกที่ผิวของอนุภาคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น และแคตไอออนิกมอนอเมอร์จะทำหน้าที่เป็นพอลิอิเล็กไทรไลต์ ทำให้อนุภาคของพอลิเมอร์มีความเสถียร

กานาชูนด์ และคณะ (Ganachaud et al. 1997 : 2315 - 2329) ศึกษาการทำปฏิกิริยาระหว่างสไตรีนกับแคตไอออนิกมอนอเมอร์ที่มีหมู่อะมิโนเป็นองค์ประกอบ คือ ไวนิลเบนซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ (vinyl benzyl amine hydrochloride) โดยใช้ 2,2′-เอโซบีส(2-อะมิดิโนโพรเพน) ไดไฮโดรคลอไรด์ (2,2′-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา ความเข้มข้นของแคตไอออนิกมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณมอนอเมอร์ที่เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.3 จากการศึกษาพบว่า เมื่อความเข้มข้นของแคตไอออนิกมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น ปริมาณมอนอเมอร์ที่เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้น และคงที่เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

ร้อยละของปริมาณมอนอเมอร์ที่เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์



เวลา (นาที)

ภาพประกอบที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมอนอเมอร์ที่เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์กับเวลา ความเข้มข้นของไวนิลเบนซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ ● 10^3 โมล/ลิตร ■ 1.22 โมล/ลิตร ◆ 2.94 โมล/ลิตร ▲ 5.88 โมล/ลิตร

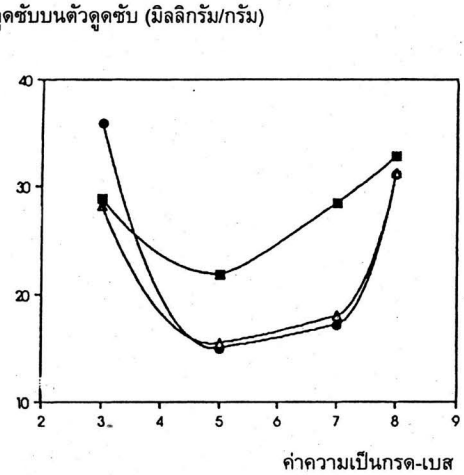
ในการเตรียมแคตไอออนิกพอลิอิเล็กโทรไลต์ นิยมใช้อะคริลาไมด์ทำปฏิกิริยาร่วมกับแคตไอออนิกมอนอเมอร์ ซอง และคณะ (Song et al. 2003 : 1101 - 1108) ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริลาไมด์กับอะคริโลอิลออกซีเอทิลไดเมทิลเบนซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (acryloyloxyethyl dimethylbenzyl ammonium chloride) ซึ่งเป็นแคตไอออนิกมอนอเมอร์ โดยใช้แคตไอออนิกมอนอเมอร์และอะคริลาไมด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ผลการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนระหว่างแคตไอออนิกมอนอเมอร์และอะคริลาไมด์ที่มีต่อความหนาแน่นของประจุในพอลิเมอร์ร่วม

อัตราส่วนระหว่างแคตไอออนิกมอนอเมอร์ : อะคริลาไมด์	ความหนาแน่นประจุของแคตไอออนิกมอนอเมอร์ (ไมโครอิควิวาเลนซ์/กรัม)
0 : 100	-
5 : 95	328
10 : 90	768
15 : 85	1123
20 : 80	1414

จากการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของประจุบวกเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแคตไอออนิกมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นประจุในพอลิเมอร์มีความสำคัญต่อสมบัติของพอลิเมอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้พอลิเมอร์เป็นสารก่อการจับกลุ่ม (flocculants)

ดูราน, โซลแพน และเกียเวน (Duran, Solpan and Gieven 1999 : 196 - 199) ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และกรดอะคริลิก โดยใช้อะคริลาไมด์ในอัตราส่วนร้อยละ 15 20 และ 30 โดยโมล ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.4

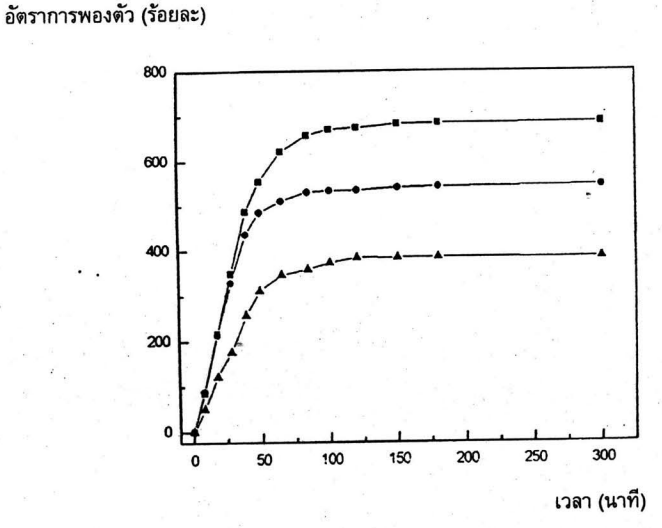


ภาพประกอบที่ 2.4 การดูดซับสีย้อมของไฮโดรเจลที่ได้จากการเตรียมร้อยละโดยโมลของอะคริลาไมด์ ● = 30 ▲ = 20 ■ = 15

ไฮโดรเจลที่ได้จากการเตรียมสามารถดูดซับสีแคตไอออนิกที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ที่ค่าความเป็นกรด - เบสมากกว่า 5 การดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากกการเกิดอิออไนซ์ของหมู่ -COOH ที่เป็นองค์ประกอบในไฮโดรเจล จึงทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างไฮโดรเจลกับโมเลกุลของสีย้อมที่มีประจุบวก แต่อย่างไรก็ตาม ที่ค่าความเป็นกรด - เบสต่ำกว่า 5 การดูดซับสีย้อมมีค่าสูงเช่นกัน เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่อะมิโนในโมเลกุลของสีย้อมและหมู่ -COOH ในไฮโดรเจล

การทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมแอลจิเนตและไดแอลลิวไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (diallydimethylammonium chloride) ซึ่งเป็นแคตไอออนิกมอนอเมอร์ ทำให้เกิดไฮโดรเจล การสังเคราะห์ไฮโดรเจลทำได้โดยเตรียมสารละลายโซเดียมแอลจิเนตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 จากนั้นเติมแคตไอออนิกมอนอเมอร์ลงไป โดยใช้อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแอลจิเนตและแคตไอออนิกมอนอเมอร์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน การเกิดการเชื่อมขวาง (crosslinked) ของ

แคดไอออนิกมอนอเมอร์เกิดขึ้นโดยใช้เอ็น, เอ็น′-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (*N,N′*-methylenebisacrylamide) เป็นสารเชื่อมขวาง และใช้แอมโมเนียมเพอร์ออกซีไดซัลเฟต (ammonium peroxydisulfate) และเอ็น, เอ็น, เอ็น′, เอ็น′-เตตระเมทิลเอทิลลีนไดเอมีน (*N,N,N′,N′*-tetramethylethylenediamine) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาและสารกระตุ้นสารเชื่อมขวาง (accelerator) ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เตรียมให้อยู่ในรูปของฟิล์ม โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องและทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำฟิล์มที่ได้จุ่มในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำให้เกิดการเชื่อมขวางของโซเดียมแอลจิเนต สมบัติการพองตัว (swelling) ของไฮโดรเจลแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.5 (Kim, Yoon and Kim 2004 : 3705 - 3709)



ภาพประกอบที่ 2.5 สมบัติการพองตัวของไฮโดรเจล

อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแอลจิเนต : แคดไอออนิกมอนอเมอร์ ■ = 1 : 1 ● = 3 : 1 ▲ = 5 : 1

ผลจากการศึกษาพบว่า ไฮโดรเจลเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว และเข้าสู่สมดุลที่เวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนการพองตัวขึ้นอยู่กับปริมาณของแคดไอออนิกมอนอเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมไฮโดรเจล เมื่ออัตราส่วนของแคดไอออนิกมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนการพองตัวจะเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนการพองตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 380 - 690

2.2 การกำจัดสีในน้ำทิ้ง

อุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้น้ำและสารเคมีต่าง ๆ เป็นจำนวนมากในขั้นตอนการย้อมและการตกแต่ง สีย้อมชนิดต่าง ๆ ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอแสดงดังในตารางที่ 2.3 จากตารางพบว่า ความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งขึ้นอยู่กับประเภทของสี และสีรีแอกทีฟเป็นสีที่พบในปริมาณมากที่สุด

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ (Uygur 1997 : 211 - 217)

ประเภทของสี	ร้อยละของปริมาณสีในน้ำทิ้ง
สีไดเรกท์	10
สีดีสเพอร์ส	5
สีเบสิก	2
สีแอซิด	5
สีรีแอกทีฟ	30

2.2.1 วิธีการกำจัดสีในน้ำทิ้ง

วิธีกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ วิธีออกซิเดชัน การตกตะกอนทางเคมี การดูดซับ และวิธีทางชีวภาพ (Kim et al. 2004 : 49 - 58)

2.2.1.1 การกำจัดสีโดยวิธีออกซิเดชัน (Uygur 1997 : 211 - 217)

วิธีออกซิเดชันเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดสี วิธีนี้ประกอบด้วย การออกซิเดชันทางชีวภาพ การออกซิเดชันด้วยแสงอัลตราไวโอเลต การออกซิเดชันด้วยโซเดียมไฮโปรคลอไรท์ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ โอโซน และกรดไนตริก

ในกระบวนการออกซิเดชัน สีในน้ำทิ้งจะถูกกำจัดไม่หมด การออกซิไดส์ทำให้โมเลกุลของสีเล็กลง และเปลี่ยนเป็นไม่มีสี การออกซิไดส์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลและความแรงของการเกิดออกซิเดชัน

2.2.1.2 การกำจัดสีโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (Chu 2001 : 3147 - 3152)

สารอนินทรีย์ที่ทำให้เกิดการตกตะกอน เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมคาร์บอเนต เฟอร์รัสซัลเฟต วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กำจัดสีจำนวนมาก การกำจัดสีโดยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโมเลกุลของสี องค์ประกอบของสี และความเข้มข้น แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การใช้สารอนินทรีย์ทำให้เกิดตม (sludge) จำนวนมาก และพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการกำจัดสีอาจหลงเหลืออยู่ในน้ำภายหลังจากการกำจัด

2.2.1.3 การกำจัดสีโดยการดูดซับ (Kim et al. 2004 : 49 - 58 ; Netpradit, Thiravetyan and Towprayoon 2003 : 763 - 772)

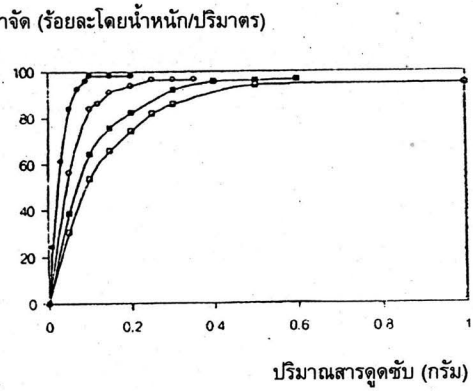
วัสดุที่ใช้ในการดูดซับ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ วัสดุทางการเกษตร และวัสดุทางชีวภาพอื่น ๆ การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อใช้กับของเหลวที่มีปริมาณน้อย แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวิธีที่มีต้นทุนในการกำจัดสูง

วัสดุทางการเกษตรส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ซึ่งมีประจุเป็นลบเช่นเดียวกับสีย้อม ทำให้เกิดการผลักกันกับโมเลกุลของสี ในการใช้เซลลูโลสเป็นวัสดุดูดซับจึงอาจใช้งานในภาวะที่มีค่าความเป็นกรด - เบสต่ำ ๆ เพื่อลดแรงผลักระหว่างประจุในโมเลกุลของสีกับเซลลูโลส การใช้วัสดุทางชีวภาพอื่น ๆ เช่น ไคโทซาน ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับประจุที่ผิวของวัสดุและค่าความเป็นกรด - เบส

2.2.2 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสี

2.2.2.1 การกำจัดสีโดยใช้สารอนินทรีย์

กากของเสียจากตมของโลหะไฮดรอกไซด์สามารถใช้ในการกำจัดสีรีแอกทีฟ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของตมและปริมาณของโลหะไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.6 (Netpradit, Thiravetyan and Towprayoon 2003 : 763 - 772)



ภาพประกอบที่ 2.6 ปริมาณโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันในการกำจัดสีรีแอกทีฟ

● อนุภาคขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน o อนุภาคขนาด 106 - 150 ไมครอน

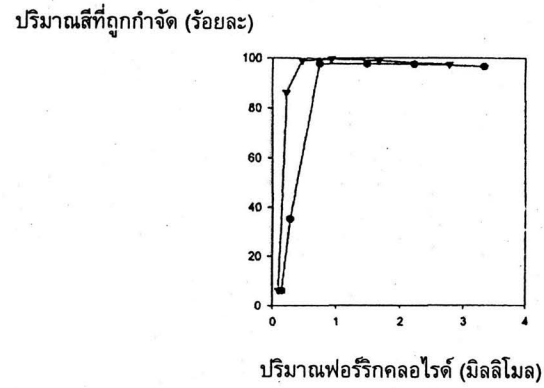
■ อนุภาคขนาด 150 - 212 ไมครอน □ อนุภาคขนาด 212 - 355 ไมครอน

ความเข้มข้นของสี 30 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าความเป็นกรด - เบส 9 - 8

อุณหภูมิ 30 $\pm 2^{\circ}C$ เวลา 60 นาที

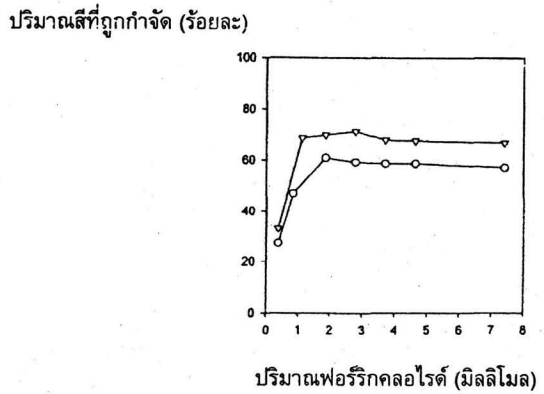
ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณของโลหะไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น การดูดซับสีรีแอกทีฟเพิ่มขึ้น การดูดซับสีรีแอกทีฟมีค่าสูงสุด เมื่อใช้โลหะไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.1 กรัม 0.25 กรัม 0.6 กรัม และ 1 กรัม ในอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 75 106 - 150 150 - 212 และ 212 - 355 ไมครอน ตามลำดับ ดังนั้น อนุภาคที่มีขนาดเล็กดูดซับสีรีแอกทีฟได้ดีกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

สีดีสเพอร์สและสีรีแอกทีฟถูกกำจัดโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารก่อการจับก้อน (coagulant) ปริมาณสีที่ถูกกำจัดขึ้นอยู่กับปริมาณของเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ใช้ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.7 - 2.8 (Kim et al. 2004 : 49 - 58)



ภาพประกอบที่ 2.7 ปริมาณสีดีสเพอร์สที่ถูกกำจัดโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์

● สีน้ำเงินที่ค่าความเป็นกรด - เบส 6 ▼ สีเหลืองที่ค่าความเป็นกรด - เบส 5

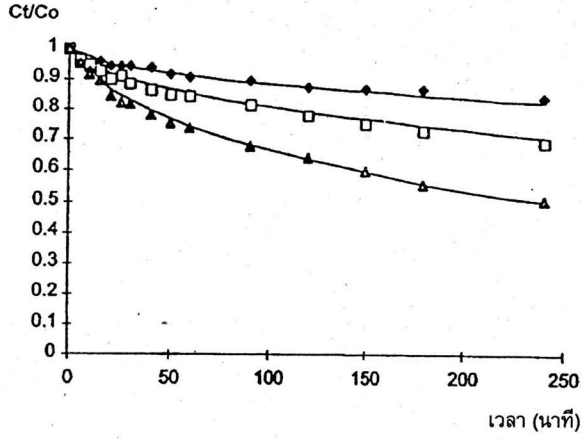


ภาพประกอบที่ 2.8 ปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกกำจัดโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์

O สีน้ำเงินที่ค่าความเป็นกรด - เบส 7 ∇ สีเหลืองที่ค่าความเป็นกรด - เบส 6

ผลจากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของเฟอร์ริกคลอไรด์ในการกำจัดสีดีสเพอร์สสูงกว่าสีรีแอกทีฟ และความเข้มข้นของสารก่อการจับก้อนที่ใช้ในการกำจัดสีดีสเพอร์สมีค่าน้อยกว่าสีรีแอกทีฟ สีดีสเพอร์สสีน้ำเงินและสีเหลืองถูกกำจัดในปริมาณร้อยละ 0.93 มิลลิโมล และ 0.74 มิลลิโมล ตามลำดับ ส่วนการกำจัดสีรีแอกทีฟสีน้ำเงินและสีเหลืองถูกกำจัดในปริมาณร้อยละ 60.9 และ 71.3 เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2.78 และ 1.85 มิลลิโมล ตามลำดับ

วอลเคน และเวทเทอร์เลย์ (Walken and Weatherley 1997 : 1895 - 1899) ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับสีแอซิดของถ่านกัมมันต์ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสีที่เหลือกับความเข้มข้นของสีเริ่มต้น (C_t/C_o) กับเวลาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.9



ภาพประกอบที่ 2.9 ผลของความเข้มข้นของสีแอซิดต่อการดูดซับบนถ่านกัมมันต์

♦ 600 มิลลิกรัม/ลิตร □ 400 มิลลิกรัม/ลิตร Δ 200 มิลลิกรัม/ลิตร

ผลจากการศึกษาพบว่า การดูดซับสีแอซิดบนถ่านกัมมันต์ลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น การดูดซับบนถ่านกัมมันต์จึงเป็นกระบวนการดูดซับทางเคมี

2.2.2.2 การกำจัดสีโดยใช้พอลิเมอร์

ซีไมเทเทียน ซิลโอเบทิ และ คิลมาวิคิท (Zemaitaitience,Ziobaite and Klimaviciute 2003 : 37 - 47) ศึกษากลไกการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้พอลิเมอร์ในกลุ่มควอเทอร์นารีแอมโมเนียมร่วมกับสารในกลุ่มแอนไอออน ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แอลจิเนต และโพแทสเซียมพาล์มมิเทต ผลการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสีย้อมที่เหลือภายหลังจากการกำจัด

ชนิดของสีย้อม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ชนิดของแอนไอออน	ร้อยละของปริมาณสีที่เหลือภายหลังจากการกำจัด
สีดีสเพอร์ส	100	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	6
	100	แอลจิเนต	4
	100	โพแทสเซียมพาล์มมิเทต	0
สีแอซิด	100	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	3

ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณสีที่เหลือภายหลังจากการกำจัดมีปริมาณน้อย แสดงว่าสารที่ใช้ในการกำจัดสีมีประสิทธิภาพดี กลไกการกำจัดสีเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียมกับสารในกลุ่มแอนไอออน ซึ่งเกิดขึ้นในสารละลายสี สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นทำให้สีเกิดการตกตะกอน

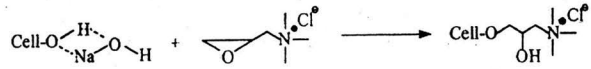
2.2.2.3 การกำจัดสีโดยใช้วัสดุทางการเกษตร

บาเอบ และคณะ (Baouab et al. 2000 : 171 - 183) ศึกษาการกำจัดสีโดยใช้ฝ้าย - อีพอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (cellulose - epoxy propyitrimethylammoniun chloride) โดยนำเส้นใยฝ้ายทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 12 นอร์มัล ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำ และทำให้เป็นกลางด้วยกรดแอซีติกเข้มข้นร้อยละ 1 และทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นใยฝ้ายมาทำปฏิกิริยากับอีพอกซี โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้เกิดหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมบนเส้นใยฝ้าย ซึ่งมีโครงสร้าง ดังนี้

ขั้นที่ 1

เซลลูโลส

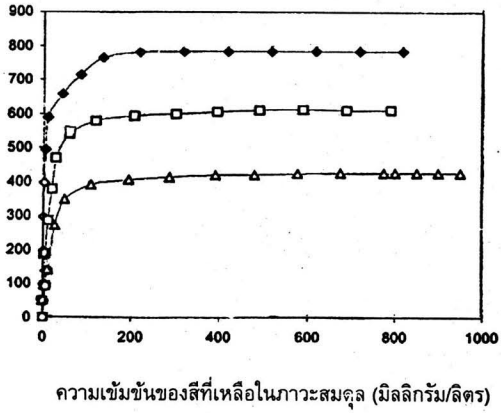
ขั้นที่ 2



อีพอกซี โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

ภาพประกอบที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงจากการทำปฏิกิริยากับ อีพอกซี โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

เส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับดูดซับสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.11

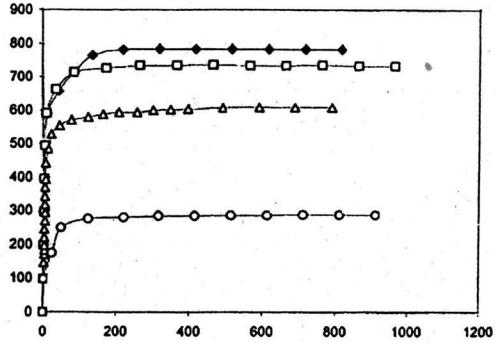


ภาพประกอบที่ 2.11 การดูดซับสีย้อมของเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุง ร้อยละของปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยฝ้ายเท่ากับ 1.85

◆ สีแอซิด - สีน้ำเงิน □ สีแอซิด - สีเหลือง Δ สีรีแอกทีฟ - สีเหลือง

การดูดซับสีย้อมของเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมและโมเลกุลของสี นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมของเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงยังขึ้นอยู่กับปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมในเส้นใยฝ้าย ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.12

ปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)



ความเข้มข้นของสีที่เหลือในภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

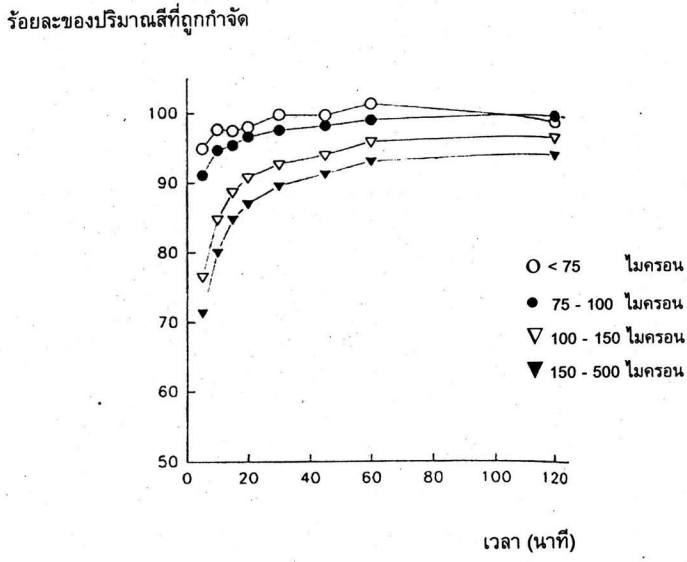
ภาพประกอบที่ 2.12 ผลของปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงต่อการดูดซับสีย้อม

◆ ปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.85 □ ปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.5

Δ ปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1 O ปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.5

ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับสีย้อมของเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยฝ้ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมมีประจุบวก จึงดูดซับกับสีย้อมที่มีประจุเป็นลบได้ดี

ลาสโซ (Laszo 1996 : 13 - 17) ศึกษาการเตรียมเรซินสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนจากซานอ้อย เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟจากน้ำทิ้ง การปรับปรุงซานอ้อยให้มีประจุบวกทำได้โดยนำซานอ้อยทำปฏิกิริยากับเอ็น-(3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิล)ไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-chloro-2-hydroxypropyl) trimethylammmonium chloride) การกำจัดสีรีแอกทีฟด้วยซานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.13



ภาพประกอบที่ 2.13 ขนาดอนุภาคของชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงต่อการกำจัดสีรีแอกทีฟ

จากการศึกษาพบว่า อนุภาคของชานอ้อยที่มีขนาดเล็กกำจัดสีได้ดีกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และการกำจัดสีเริ่มคงที่ที่เวลาประมาณ 60 นาที ในทุก ๆ ขนาดอนุภาคของชานอ้อย

2.3 ไอโซเทิร์มของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

โดยทั่วไป เมื่อปล่อยให้ตัวถูกดูดซับสัมผัสกับสารถูกดูดซับในช่วงระยะเวลานานอย่างเพียงพอจะเกิดสภาวะที่เรียกว่า สมดุลการดูดซับ ซึ่งในขณะนั้น ปริมาณสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้สมดุลกับปริมาณหรือความเข้มข้นของสารถูกดูดซับนั้นในวัฏภาคของไหล สมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิของระบบคงที่ เรียกว่า ไอโซเทิร์ม

ไอโซเทิร์มของการดูดซับแสดงได้โดยความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร) (Ce) กับ จำนวนมิลลิกรัมของสารถูกดูดซับต่อกรัมของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม) (qe) โดย qe คำนวณได้จากสูตร ดังนี้ (Mohamed et al. 2000 : 171 - 183)

qe = (Co - Ce) V / W

Co = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

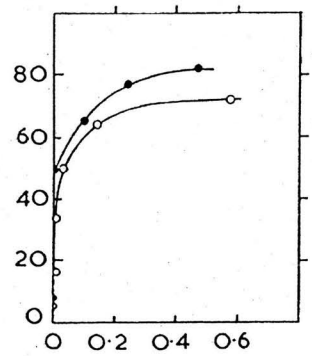
Ce = ความเข้มข้นที่สมดุลของสารถูกดูดซับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

V = ปริมาตรของสารละลายสี (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

W = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)

qe = จำนวนมิลลิกรัมของสารถูกดูดซับต่อกรัมของสารดูดซับที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

กิลส์ เจรก์เซก และนาก์ฮวา (Giles, Greczek and Nakhwa 1961 : 93 - 95) ศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับสี (Janus Red B) บนซิลิกา ซึ่งเป็นของแข็งอนินทรีย์ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.14 ผลจากการศึกษาพบว่า การดูดซับสีเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงว่าไอโซเทิร์มของการดูดซับสีบนซิลิกาเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

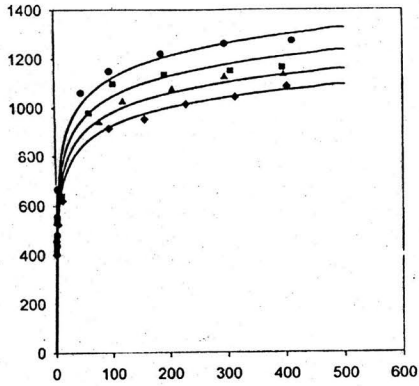


ภาพประกอบที่ 2.14 ไอโซเทิร์มของการดูดซับสีบนซิลิกา

อุณหภูมิ o = 30°C ● = 50°C

อิทธิพลของค่าความเป็นกรด - เบสและอุณหภูมิที่มีต่อไอโซเทิร์มของการดูดซับสีแอซิดบนถ่านกัมมันต์แสดงดังในภาพประกอบที่ 2.15 - 2.16 ผลจากการศึกษาพบว่า การดูดซับสีแอซิดบนถ่านกัมมันต์ลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด - เบสและอุณหภูมิของสารละลายสีเพิ่มขึ้น (Chern and Wu 2001 : 4159 - 4165)

ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)



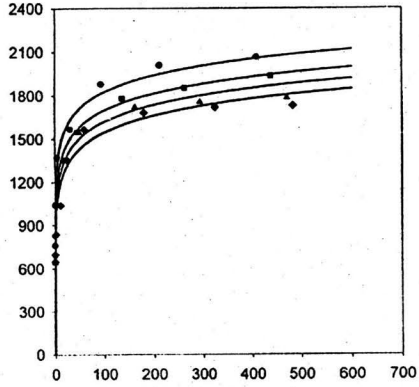
ความเข้มข้นของสีที่เหลือในภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

ภาพประกอบที่ 2.15 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด - เบสที่มีต่อไอโซเทิร์มของการดูดซับสีแอซิดบนถ่านกัมมันต์

● ความเป็นกรด - เบส 2 ■ ความเป็นกรด - เบส 4

▲ ความเป็นกรด - เบส 6 ◆ ความเป็นกรด - เบส 8

ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

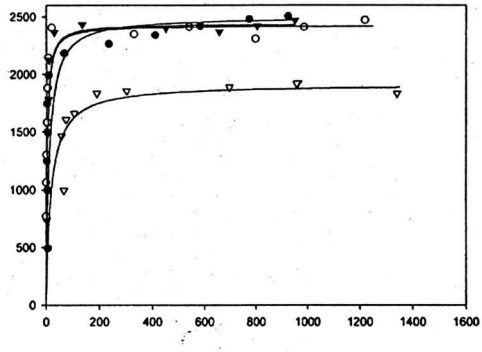


ความเข้มข้นของสีที่เหลือในภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

ภาพประกอบที่ 2.16 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อไอโซเทิร์มของการดูดซับสีแอซิดบนถ่านกัมมันต์

● อุณหภูมิ 15°C ■ อุณหภูมิ 30°C ▲ อุณหภูมิ 40°C ◆ อุณหภูมิ 50°C

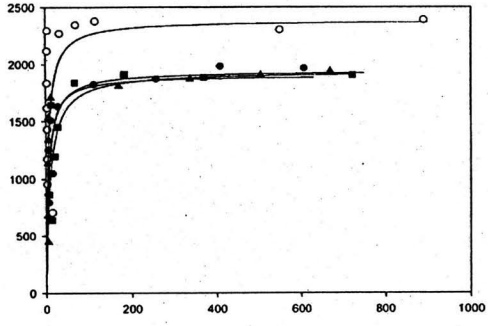
สมดุลของการดูดซับสีแอนไอออนโดยไคโทซานแสดงโดยความสัมพันธ์ระหว่าง Ce และ qe ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.17 - 2.18 ผลจากการศึกษาพบว่าการดูดซับสีบนไคโทซานเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสีเพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ ลักษณะไอโซเทิร์มของการดูดซับแสดงว่าการดูดซับสีรีแอกทีฟ สีไดเร็กท์ และสีแอซิดบนไคโทซานเข้าสู่ภาวะสมดุล (Chiou, Ho and Li 2004 : 69 - 84)



ภาพประกอบที่ 2.17 การดูดซับสีรีแอกทีฟโดยไคโทซานที่อุณหภูมิ 30°C

- ● สีรีแอกทีฟ (สีน้ำเงิน) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 3
- O สีรีแอกทีฟ (สีแดง) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 3
- ▼ สีรีแอกทีฟ (สีเหลือง) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 4
- ∇ สีรีแอกทีฟ (สีเหลือง) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 3

ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (กรัม/กิโลกรัม)



ความเข้มข้นของสีที่เหลือในภาวะสมดุล (กรัม/ลิตร)

ภาพประกอบที่ 2.18 การดูดซับสีไดเรกท์และสีแอซิดโดยไคโทซานที่อุณหภูมิ 30°C

O สีไดเรกท์ (สีแดง) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 4

■ สีแอซิด (สีส้ม) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 3

● สีแอซิด (สีแดง) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 3

▲ สีแอซิด (สีส้ม) ที่ค่าความเป็นกรด - เบส 4

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมี ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	บริษัทผู้ผลิต
โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต	$K_sS_2O_8$	Carlo Erba
3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 50) (MAPTAC)	$CH_2=CCH_3\text{-}CO\text{-}NH\text{-}CH_2\text{-}\ CH_2\text{-}\ CH_2\text{-}N^+(CH_3)Cl^-$	
สีรีแอกทีฟ		Modern Dyestuff &Pigment, Co,Ltd
สีแดง	C.I. Reactive Red 195 Monoazo	
สีน้ำเงิน	C.I. Reactive Blue 171 Azo, monochlorotriazinyl	
สีเหลือง	C.I. Reactive Yellow 84 Azo, monochlorotriazinyl	
อะคริลาไมด์ (AM)	$CH_2=CH\text{-}CO\text{-}NH_2$	Fluka
เอ็น, เอ็น′-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์ (MBAM)	$CH_2(NH\text{-}CO\text{-}CH=CH_2)_2$	Fluka
เอ็น, เอ็น, เอ็น′, เอ็น′-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน (TEMEDA)	$(CH_3)_2\text{-}N\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}N(CH_3)_2$	Fluka

3.2 การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ

3.2.1 การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์กับอะคริลาไมด์

วิธีการทดลอง

1. ละลาย อะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จำนวน 10 กรัม ในน้ำกลั่นจำนวน 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติม เอ็น, เอ็น′-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์ ปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ และโพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟตปริมาณร้อยละ 1.6 โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ คนจนได้สารละลายใส

2. หยด เอ็น, เอ็น', เอ็น', เอ็น-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลาย คนให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันในพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ที่ทำการศึกษา

ปริมาณอะคริลาไมด์	ปริมาณ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์
1.0	0
0.8	0.2
0.6	0.2
0.6	0.4
0.2	0.4
0.4	0.6
0.2	0.8
0	1.0

3.2.2 การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับโดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ

วิธีการทดลอง

1. ชั่ง 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ จำนวน 20 กรัม จากนั้นเติม เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์ ปริมาณร้อยละ 1 - 20 โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ และโพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟตปริมาณร้อยละ 1.6 โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์ คนจนได้สารละลายใส

2. หยด เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลาย คนให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันในพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

3.3 การศึกษาสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

3.3.1 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่าง 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ และอะคริลาไมด์ที่มีต่อสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

วิธีการทดลอง

1. ชั่งพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน จำนวน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสีรีแอกทีฟ (สีแดง) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 จำนวน 30 มิลลิลิตรลงไป ปิดปากหลอดทดลอง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. นำพอลิเมอร์ออกจากหลอดทดลอง และซับด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นชั่งน้ำหนักพอลิเมอร์ และบันทึกผล

3. คำนวณอัตราส่วนการพองตัวของพอลิเมอร์ จากสูตร ดังนี้

อัตราส่วนการพองตัว = W-Wo / Wo

Wo = น้ำหนักเริ่มต้นของพอลิเมอร์

W = น้ำหนักของพอลิเมอร์ภายหลังจากซับด้วยกระดาษกรอง

3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) ที่มีต่อสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองซ้ำเช่นเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน แต่ใช้พอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้สารเชื่อมขวาง คือ เอ็น, เอ็น′-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์ในปริมาณต่าง ๆ กันแทน และคำนวณหาอัตราส่วนการพองตัว

3.4 การศึกษาการดูดซับสีรีแอกทีฟของพอลิเมอร์

วิธีการทดลอง

1. ชั่งพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน จำนวน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสีรีแอกทีฟ (สีแดง) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 จำนวน 30 มิลลิลิตรลงไป ปิดปากหลอดทดลอง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. ดูดสารละลายสีที่เหลือออกจากหลอดทดลอง และวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีที่ค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และคำนวณหาปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ จากสูตร ดังนี้

qe = (Co-Ce)V / W

qe = จำนวนมิลลิกรัมของสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

Co = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีรีแอกทีฟ (มิลลิกรัม/ลิตร)

Ce = ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ (มิลลิกรัม/ลิตร)

V = ปริมาตรของสารละลายสีรีแอกทีฟ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

W = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)

3. คำนวณหาร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด จากสูตร ดังนี้

ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด = qe / qo X 100

qe = จำนวนมิลลิกรัมของสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ที่ภาวะสมดุล

qo = จำนวนมิลลิกรัมของสีรีแอกทีฟเริ่มต้น

3.5 การศึกษาสมดุลของการดูดซับสีรีแอทีฟ

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีรีแอกทีฟ (สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 - 0.13

2. ชั่งพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน จำนวน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสีรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 - 0.13 จำนวน 30 มิลลิลิตร ลงไป ปิดปากหลอดทดลอง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. ดูดสารละลายสีที่เหลือออกจากหลอดทดลอง วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีที่ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสีแต่ละชนิด (สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง) โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

4. คำนวณหาความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสี (ความเข้มข้นของสารละลายสีที่เหลือภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์; Ce) ปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ (qe) และร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับ

4.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

พอลิเมอร์ดูดซับเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์ กับ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีเอ็น, เอ็น′-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์เป็นสารเชื่อมขวาง ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นโดยใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา และมีเอ็น, เอ็น, เอ็น′, เอ็น′-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีนเป็นตัวเร่งสารเชื่อมขวาง ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์และร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (percent yield) แสดงดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของพอลิเมอร์และร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

อัตราส่วนระหว่าง AM : MAPTAC	ลักษณะของพอลิเมอร์	ร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์
1.0 : 0	แข็ง ไม่ยืดหยุ่น	87.62
0.8 : 0.2	แข็ง	96.59
0.6 : 0.2	แข็ง	89.57
0.6 : 0.4	แข็ง	89.01
0.4 : 0.6	แข็ง	94.08
0.2 : 0.4	แข็ง	88.54
0.2 : 0.8	แข็ง	88.46
0 : 1.0	นิ่ม ไม่ยืดหยุ่น	94.97

ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์อยู่ระหว่างร้อยละ 87 - 96 พอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ มีลักษณะแข็ง เนื่องจากอะคริลาไมด์ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่พอลิเมอร์ โดยพอลิอะคริลาไมด์สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่พอลิเมอร์ได้ (Kydd and Dunham 1980 : 79 - 88) แต่พอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาโดยใช้ 3-(เมทาคริลามิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เพียงอย่างเดียวมีลักษณะนิ่มถึงแม้ว่าจะใช้สารเชื่อมขวางในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากโซ่พอลิเมอร์ของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ประกอบด้วยส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมที่มีความยาวมากกว่าอะคริลาไมด์ โครงสร้างทางเคมีของอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์มีลักษณะ ดังนี้

$$CH_2=CH-CO-NH_2$$

ภาพประกอบที่ 4.1 โครงสร้างทางเคมีของอะคริลาไมด์

$$CH_2=CCH_3-CO-NH-CH_2-CH_2-CH_2-N^+(CH_3)Cl^-$$

ภาพประกอบที่ 4.2 โครงสร้างทางเคมีของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ภาพประกอบที่ 1 - 3 ภาคผนวก ก) ผลจากการศึกษาพบว่า พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ประกอบด้วยสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่บริเวณ 3400 ซม$^{-1}$ และ 1700 ซม$^{-1}$ ของหมู่ NH และ CO ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ ตามลำดับ

4.1.2 การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับโดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ

3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา และมีเอ็น, เอ็น′-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์เป็นสารเชื่อมขวาง ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นโดยใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา และมีเอ็น, เอ็น, เอ็น′, เอ็น′-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน เป็นตัวเร่งสารเชื่อมขวาง ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์และร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของพอลิเมอร์และร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์โดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ กัน

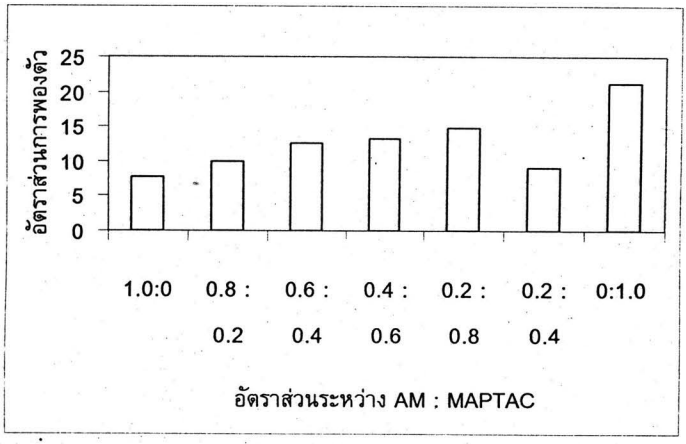
ปริมาณสารเชื่อมขวาง (ร้อยละโดยน้ำหนักของ MAPTAC)	ลักษณะของพอลิเมอร์	ร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์
1	มีลักษณะเป็นของเหลว	87.62
2	มีลักษณะเป็นของเหลวเหนียวหนืด	96.59
4	ของแข็ง	89.57
6	ของแข็ง	89.01
8	ของแข็ง	88.54
10	ของแข็ง	94.08
20	ของแข็ง	94.97

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์จะเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง เนื่องจากสารเชื่อมขวางทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิเมอร์ ดังนั้น สารเชื่อมขวางจึงมีอิทธิพลต่อลักษณะของพอลิเมอร์ จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ภาพประกอบที่ 4 - 5 ภาคผนวก ก) ผลจากการศึกษาพบว่า สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงประกอบด้วยหมู่ NH ที่บริเวณ 3400 ซม$^{-1}$ และหมู่ CO ที่บริเวณ 1700 ซม$^{-1}$

4.2 สมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

4.2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีต่อสมบัติการพองตัว

พอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ถูกนำมาศึกษาการพองตัวในสารละลายสีรีแอกทีฟ (สีแดง) ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.3 และภาคผนวก ข



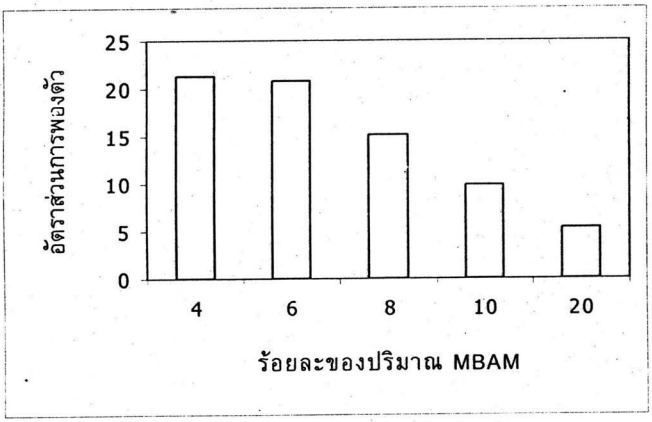
ภาพประกอบที่ 4.3 อัตราการพองตัวของพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ

ผลจากการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 1.0 : 0 พอลิเมอร์มีอัตราการพองตัวต่ำสุด แต่ที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0 : 1.0 พอลิเมอร์มีอัตราการพองตัวสูงสุด และเมื่ออัตราส่วนของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น

เนื่องจาก 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ประกอบด้วยหมู่ $-N^{+}(CH_3)Cl^{-}$ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้วและมีสมบัติชอบน้ำ โมเลกุลของน้ำจึงแทรกเข้าไปในโซ่พอลิเมอร์ได้ดี โดย เรน และคณะ (Ren et al. 2001 : 277) รายงานว่าพอลิเมอร์ในกลุ่มควอเทอร์นารีแอมโมเนียมจะดูดน้ำและเกิดการพองตัวได้ดี และผลจากการศึกษาในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของเบเดอร์ บลาสซ์ และ ปัวสนิทซ์ (Baker, Blanch and Prausnitz 1995 : 1061 - 1069) ที่พบว่า ไฮโดรเจลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ มีการพองตัวดีกว่าพอลิอะคริลาไมด์ นอกจากนี้พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ อะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0 : 1.0 มีลักษณะนิ่มไม่ยืดหยุ่น การพองตัวของพอลิเมอร์จึงเกิดได้ดีกว่าเมื่อใช้ อะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่าง อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ จึงมีผลต่อสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

4.2.2 อิทธิพลของสารเชื่อมขวางที่มีต่อสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ กัน ถูกนำมาศึกษาสมบัติการพองตัวในสารละลายสีรีแอกทีฟ (สีแดง) ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.4 และภาคผนวก ข

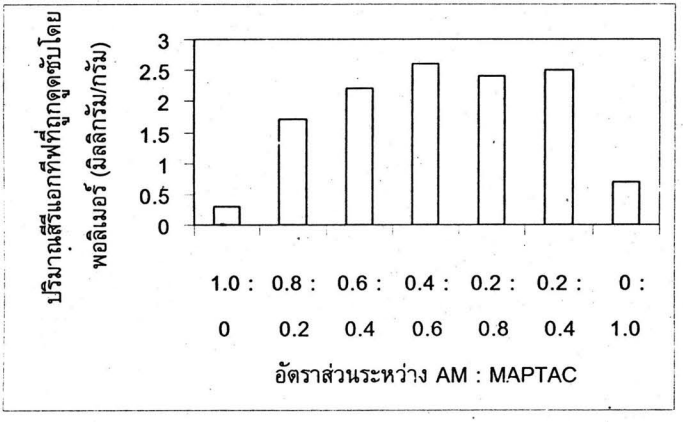


ภาพประกอบที่ 4.4 อัตราการพองตัวของพอลิเมอร์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์โดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ

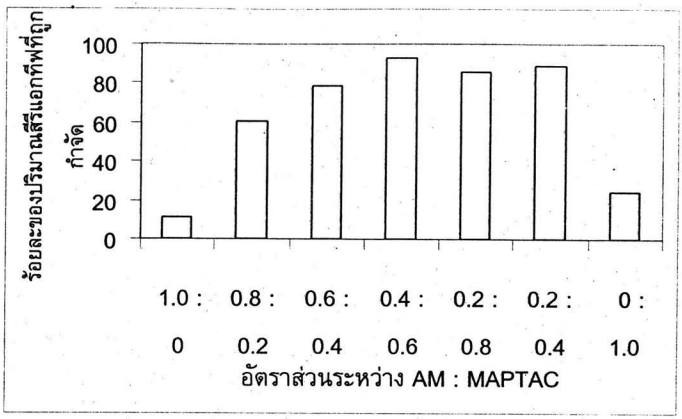
ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวของพอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากสารเชื่อมขวางทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโซ่พอลิเมอร์ โมเลกุลของน้ำจึงแทรกเข้าไปในพอลิเมอร์ได้ยาก โดยผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ ฮาร์โตริ ซูดอล และเอล-อาซเซอร์ (Hattori, Sudol and El-Aasser 1993 : 2027 - 2034) ที่พบว่า เมื่อปริมาณสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้นการพองตัวของพอลิเมอร์ในตัวทำละลายจะลดลง ดังนั้น ปริมาณสารเชื่อมขวางจึงมีผลต่อสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

4.3 สมบัติการดูดซับสีรีแอกทีฟของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ถูกนำมาศึกษาสมบัติการดูดซับสีรีแอกทีฟ (สีแดง) ปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ และร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกกำจัดแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.5 - 4.6 และภาคผนวก ค



ภาพประกอบที่ 4.5 ปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์



ภาพประกอบที่ 4.6 ร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์

ผลจากการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 1.0 : 0 พอลิเมอร์ดูดสีรีแอกทีฟได้น้อยที่สุด และเมื่อปริมาณ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เพิ่มขึ้น พอลิเมอร์จะดูดซับสีรีแอกทีฟได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากหมู่ $N^{+}(CH_3)Cl^{-}$ ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์จะจับกับประจุลบในสีรีแอกทีฟได้ดี โดยซีไมเทเทียน ซิลโอลิ และคิลมาวิคิท (Zemaitaitience, Ziobaite and Klimaviciute 2003 : 37 - 47) พบว่า พอลิเมอร์ในกลุ่มควอเทอร์นารีแอมโมเนียมดูดซับสีแอนไอออนได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม การใช้อะคริลาไมด์ทำปฏิกิริยาร่วมกับ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ทำให้พอลิเมอร์ดูดซับสีได้ดีกว่าการใช้พอลิ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เพียงอย่างเดียว แสดงว่าอะคริลาไมด์มีส่วนทำให้พอลิเมอร์ดูดซับสีได้มากขึ้น

ที่อัตราส่วนอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.4 : 0.6 พอลิเมอร์กำจัดสีในน้ำทิ้งได้ในปริมาณสูงสุด และเมื่ออัตราส่วนของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เพิ่มขึ้นมากกว่านี้ การกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำทิ้งจะเริ่มคงที่ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ จึงมีผลต่อปริมาณสีที่ถูกกำจัด

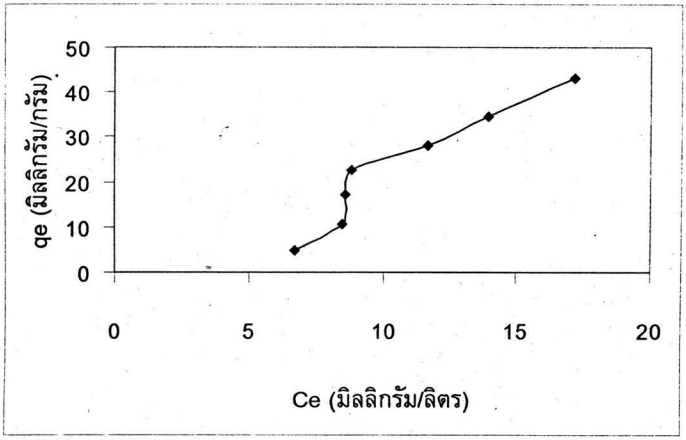
จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.4 : 0.6 0.2 : 0.8 0.2 : 0.4 และ 0 : 1.0 มาทำการศึกษาสมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

4.4 สมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟ

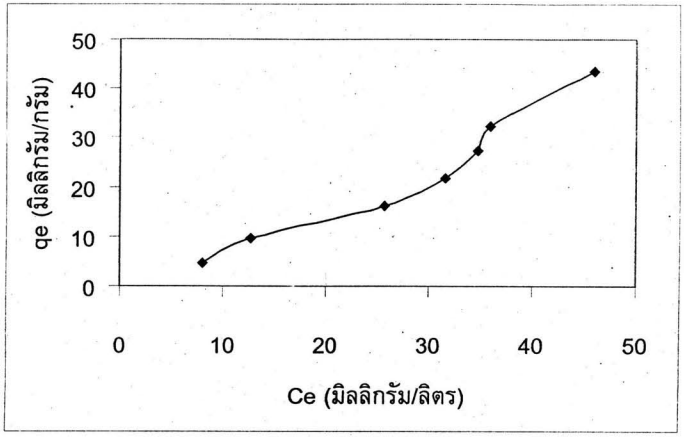
สมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟ ศึกษาโดยนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ มาดูดซับสีรีแอกทีฟจนเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยสีรีแอกทีฟที่ทำการศึกษามี 3 ชนิด คือ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง ซึ่งมีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

4.4.1 สมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง

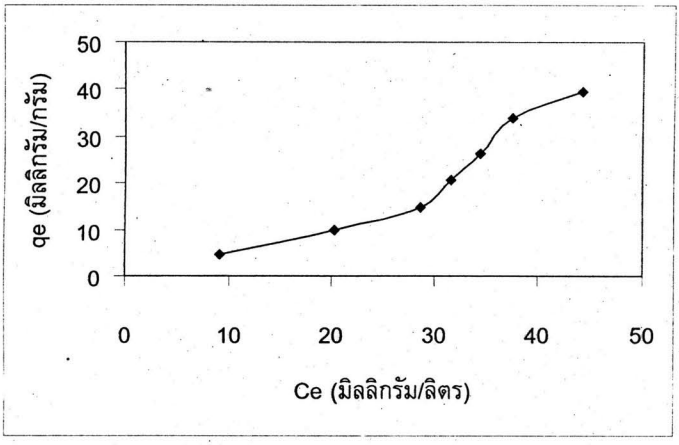
การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.7 - 4.11 และภาคผนวก ง



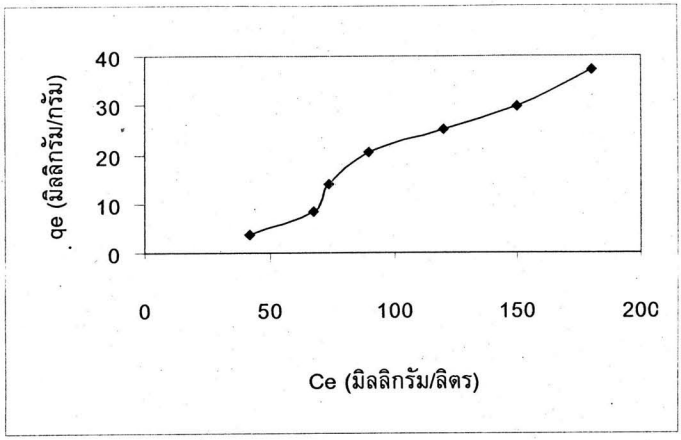
ภาพประกอบที่ 4.7 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6



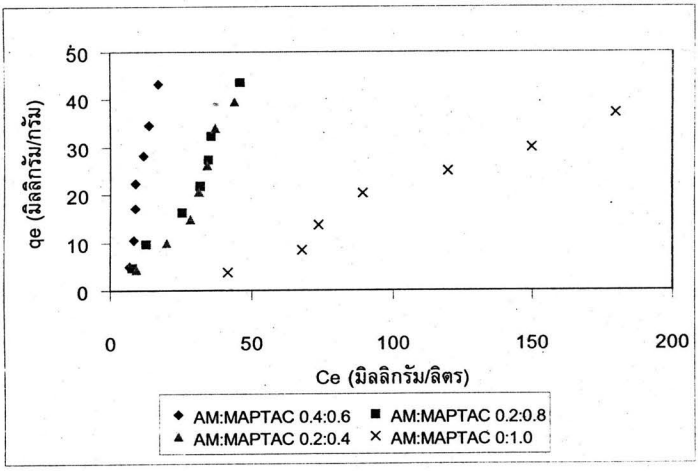
ภาพประกอบที่ 4.8 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8



ภาพประกอบที่ 4.9 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

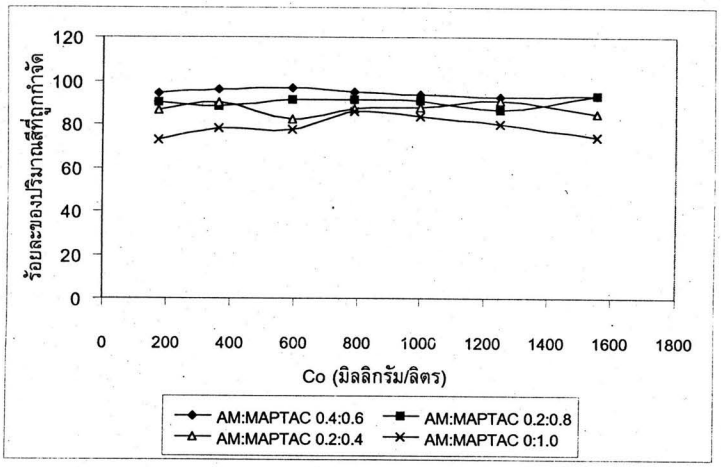


ภาพประกอบที่ 4.10 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0 : 1.0



ภาพประกอบที่ 4.11 เปรียบเทียบสมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงที่ถูกกำจัด ผลการศึกษาแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.12



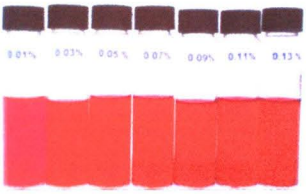
ภาพประกอบที่ 4.12 ร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์

ผลจากการศึกษาพบว่า ในช่วงแรก เมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น อัตราการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการดูดซับสีจะเริ่มช้าลง ที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.4 : 0.6 พอลิเมอร์ดูดซับสีรีแอกทีฟได้ดีที่สุด แต่ที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0 : 1.0 พอลิเมอร์ดูดซับสีได้น้อยที่สุด และการดูดซับสีเริ่มคงที่เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนอื่น ๆ

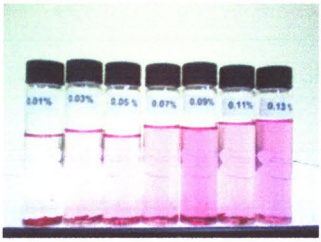
พอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟได้ในปริมาณร้อยละ 70 - 96 ที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.4 : 0.6 สีรีแอกทีฟชนิดสีแดงถูกกำจัดได้ดีที่สุด และที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0 : 1.0 สีรีแอกทีฟชนิดสีแดงถูกกำจัดได้น้อยที่สุด ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ จึงมีผลต่อสมดุลของการดูดซับและการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง

ลักษณะน้ำสีเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง การเปลี่ยนแปลงของสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์ และการเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.13 - 4.15 ผลจากการศึกษาพบว่า น้ำสีของ

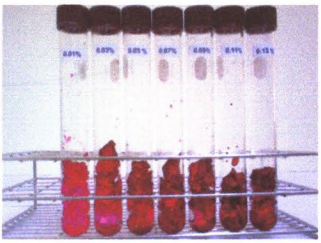
สีรีแอกทีฟชนิดสีแดงมีสีจางลงภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์มีการพองตัวเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.13 ลักษณะน้ำสีเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง



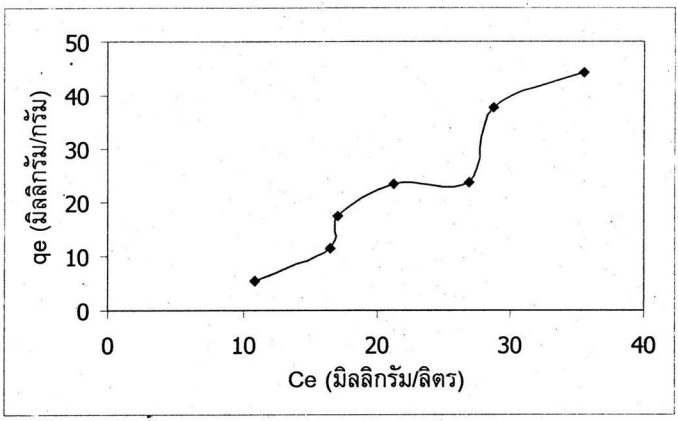
ภาพประกอบที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์



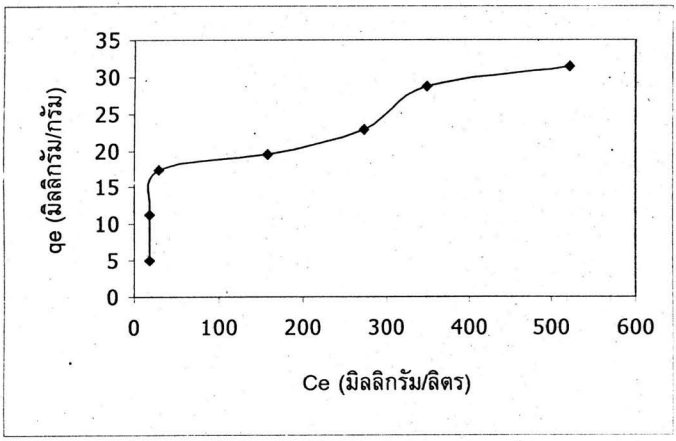
ภาพประกอบที่ 4.15 ลักษณะของพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง

4.4.2 สมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน

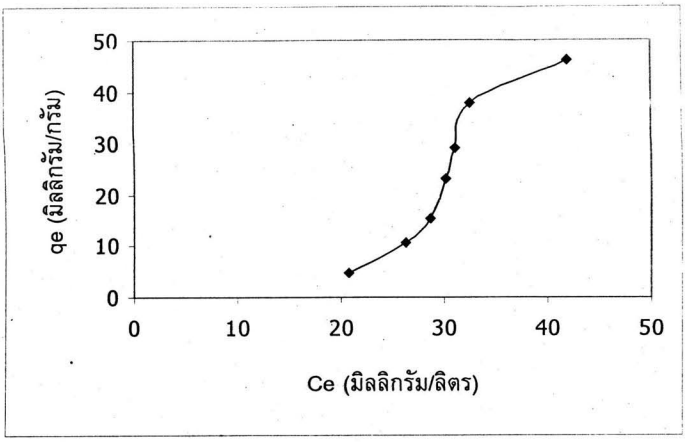
การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.16 - 4.20 และภาคผนวก จ



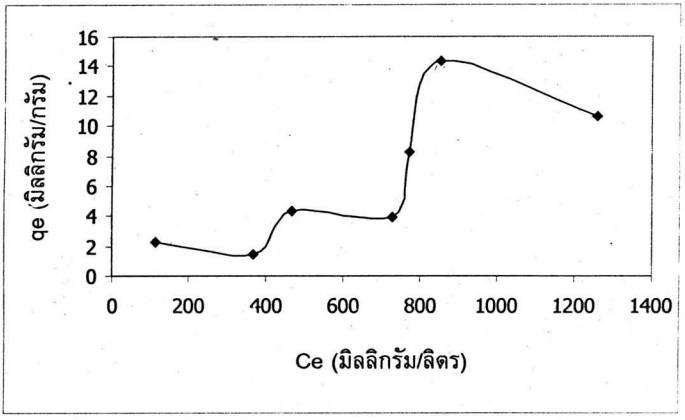
ภาพประกอบที่ 4.16 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6



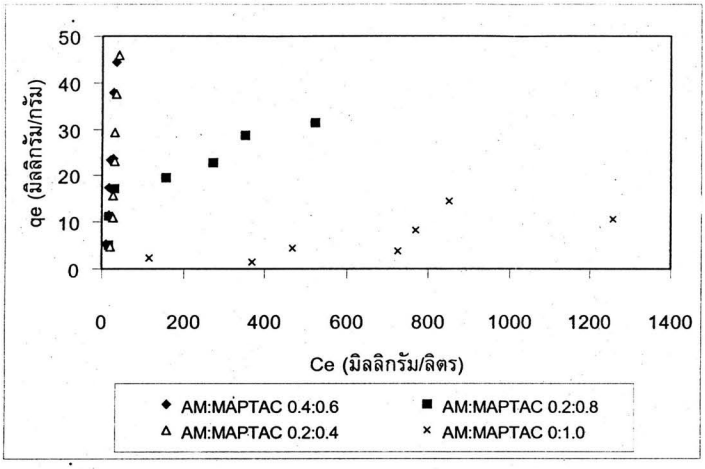
ภาพประกอบที่ 4.17 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8



ภาพประกอบที่ 4.18 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4



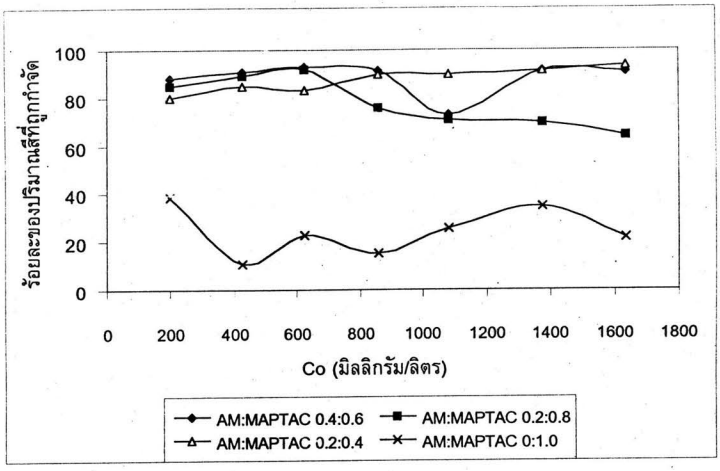
ภาพประกอบที่ 4.19 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0 : 1.0



ภาพประกอบที่ 4.20 เปรียบเทียบสมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ

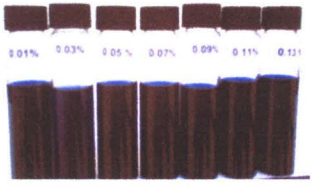
ผลจากการศึกษาพบว่า การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีรีแอกทีฟเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเข้าสู่สมดุล อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์มีผลต่อการดูดซับสี โดยพบว่าที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.4 : 0.6 และ 0.2 : 0.4 พอลิเมอร์ดูดซับสีรีแอกทีฟได้ดี แต่ที่อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0 : 1.0 พอลิเมอร์ดูดซับสีได้น้อย และเข้าสู่สมดุลของการดูดซับเร็ว

การกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.21 ผลจากการศึกษาพบว่า พอลิเมอร์ดูดซับที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ทำปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่าง ๆ มีการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินอยู่ระหว่างร้อยละ 64 - 93 แต่พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย 3-(เมทาคริลามิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เพียงอย่างเดียวมีการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินอยู่ระหว่างร้อยละ 11 - 38 ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในพอลิเมอร์ดูดซับมีผลต่อการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน

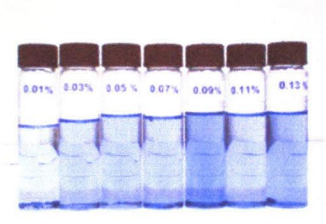


ภาพประกอบที่ 4.21 ร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์

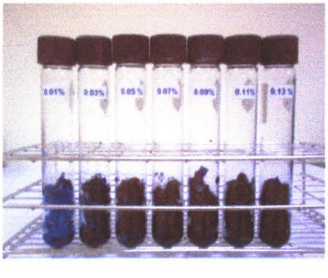
การเปลี่ยนแปลงของสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน และลักษณะของพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.22 - 4.24 ผลจากการศึกษาพบว่าสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินถูกกำจัดได้ดีโดยพอลิเมอร์ดูดซับ และพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินมีการพองตัวเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.22 ลักษณะน้ำสีเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน



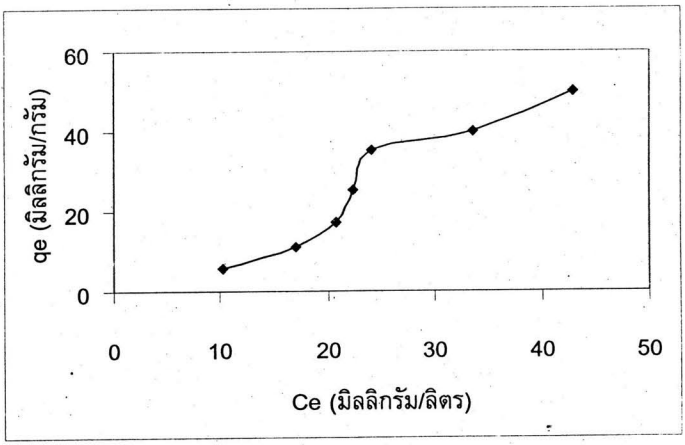
ภาพประกอบที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์



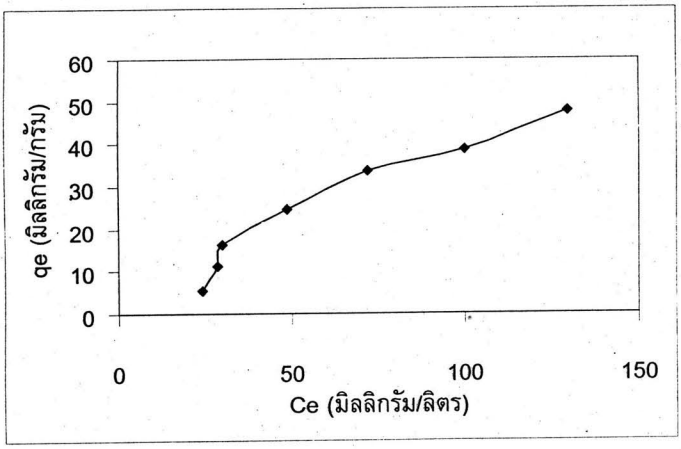
ภาพประกอบที่ 4.24 ลักษณะของพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน

4.4.3 สมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง

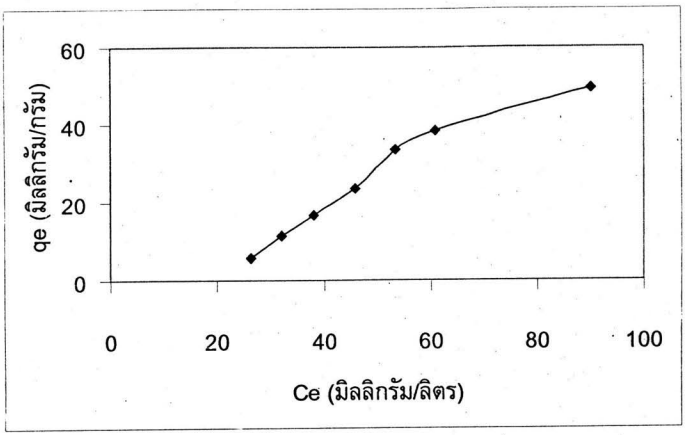
การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.25 - 4.29 และภาคผนวก ฉ



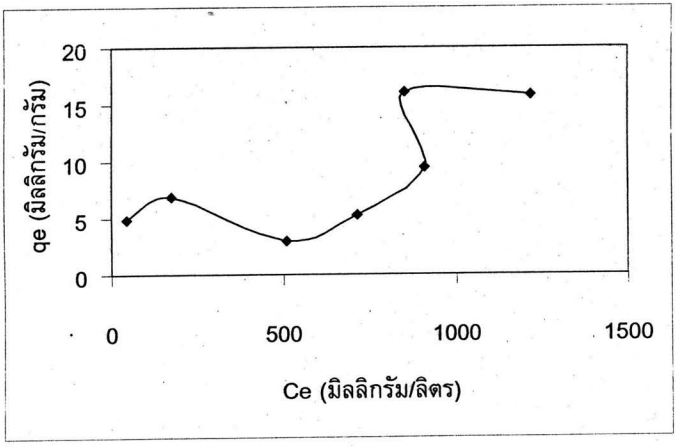
ภาพประกอบที่ 4.25 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6



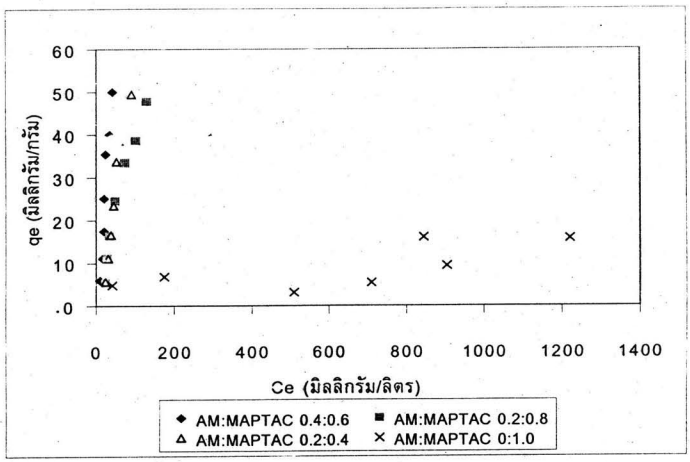
ภาพประกอบที่ 4.26 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8



ภาพประกอบที่ 4.27 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

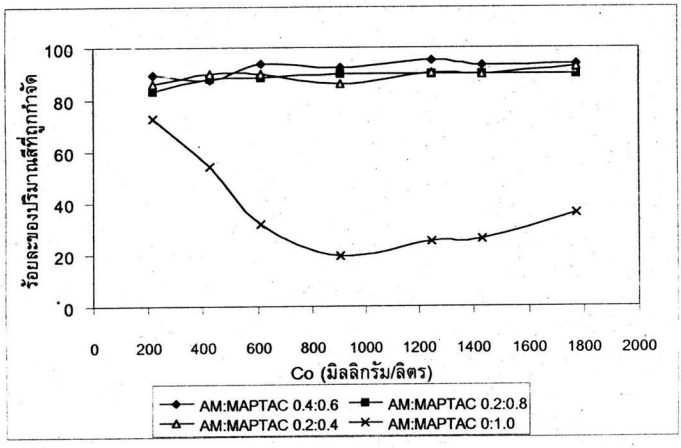


ภาพประกอบที่ 4.28 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0 : 1.0



ภาพประกอบที่ 4.29 เปรียบเทียบสมดุลของการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ

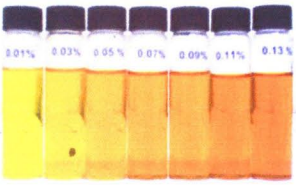
การดูดซับสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเข้าสู่สมดุล โดยพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6 0.2 : 0.8 และ 0.2 : 0.4 มีอัตราการดูดซับสีดีในระดับใกล้เคียงกัน ร้อยละการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ดูดซับแสดงดังในภาพประกอบที่ 4.30



ภาพประกอบที่ 4.30 ร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์

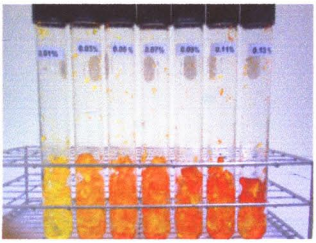
ผลจากการศึกษาพบว่า การกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ ให้ผลการกำจัดในทำนองเดียวกันกับการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงและสีน้ำเงิน คือ พอลิเมอร์ที่ใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6 0.2 : 0.8 และ 0.2 : 0.4 ให้ผลการกำจัดสีใกล้เคียงกัน โดยสีถูกกำจัดในปริมาณร้อยละ 83 - 95 ส่วนพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เพียงอย่างเดียว (AM : MAPTAC ที่อัตราส่วน 0 : 1) ให้ผลการกำจัดสีต่ำสุด โดยสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินถูกกำจัดในปริมาณร้อยละ 19 - 72 ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์มีผลต่อการกำจัดสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน

การเปลี่ยนแปลงของสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง และลักษณะของพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.31 - 4.33 ผลจากการศึกษาพบว่า สีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์มีสีจางลง และพอลิเมอร์มีลักษณะพองตัว



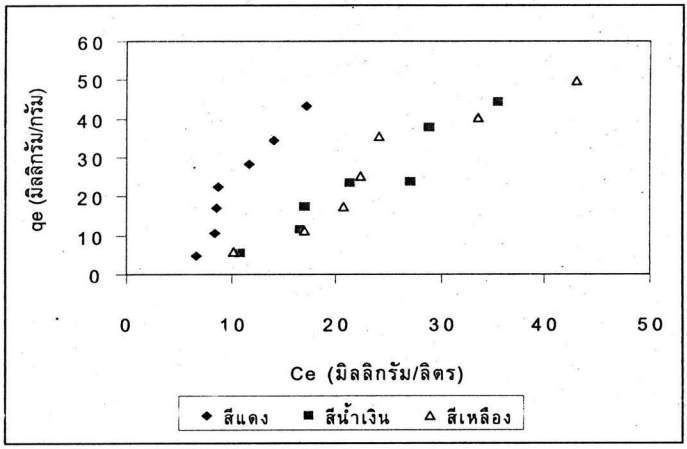
ภาพประกอบที่ 4.31 ลักษณะน้ำสีเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง

ภาพประกอบที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงของสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองภายหลังจากการดูดซับด้วยพอลิเมอร์

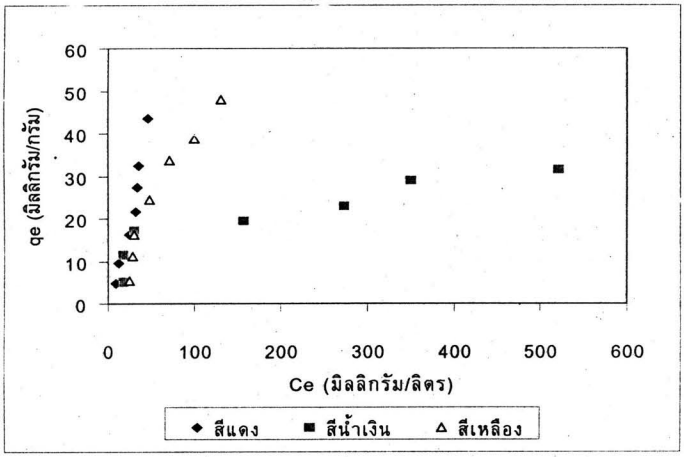


ภาพประกอบที่ 4.33 ลักษณะของพอลิเมอร์ภายหลังจากการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง

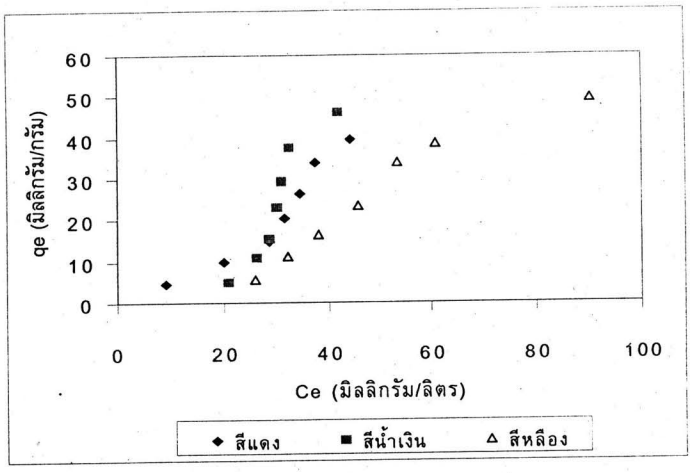
พอลิเมอร์ดูดซับที่นำมาศึกษาการดูดซับสีรีแอกทีฟประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน คือ 0.4 : 0.6 0.2 : 0.8 0.2 : 0.4 และ 0 : 1.0 การเปรียบเทียบการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง ของพอลิเมอร์ แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.34 - 4.37



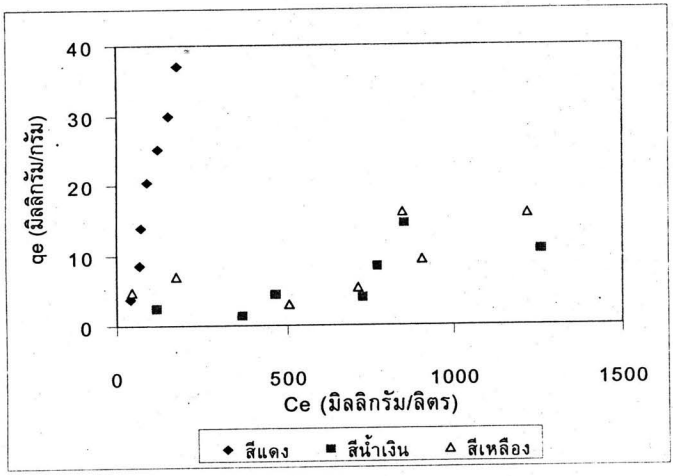
ภาพประกอบที่ 4.34 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6



ภาพประกอบที่ 4.35 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8



ภาพประกอบที่ 4.36 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4



ภาพประกอบที่ 4.37 การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0 : 1.0

ผลจากการศึกษาพบว่า การดูดซับสีรีแอกทีฟโดยพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริลาไมด์ : 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน สีรีแอกทีฟชนิดสีแดงถูกดูดซับได้ดีที่สุด ส่วนสีน้ำเงินและสีเหลืองมีแนวโน้มของการดูดซับใกล้เคียงกัน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับเพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบีสอะคริลาไมด์ และ เอ็น,เอ็น,เอ็น',เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา สารเชื่อมขวาง และตัวเร่งสารเชื่อมขวาง ตามลำดับ

2. สารเชื่อมขวางที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับมีอิทธิพลต่อลักษณะของพอลิเมอร์ เมื่อปริมาณสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง

3. ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์ คือ อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์ (AM) และ3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (MAPTAC) และปริมาณสารเชื่อมขวาง เมื่ออัตราส่วน MAPTAC เพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณสารเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การพองตัวของพอลิเมอร์ลดลง

4. สมบัติการดูดซับสีรีแอกทีฟของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่อัตราส่วน AM : MAPTAC เท่ากับ 0.4 : 0.6 (หรือ 2 : 3) พอลิเมอร์จะดูดซับสีรีแอกทีฟได้สูงสุด โดยกำจัดสีรีแอกทีฟได้มากกว่าร้อยละ 90

5. สมดุลการดูดซับของสีรีแอกทีฟชนิดต่าง ๆ คือ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง สีรีแอกทีฟชนิดสีแดงถูกดูดซับได้ดีที่สุด ส่วนสีน้ำเงินและสีเหลืองมีสมดุลของการดูดซับใกล้เคียงกัน

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป

1. ศึกษาการดูดซับสีย้อมชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ สีไดเร็กท์ สีดีสเพอร์ส และสีแอซิด

2. ศึกษาอิทธิพลของภาวะต่าง ๆ ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีต่อการดูดซับสี ได้แก่ อิทธิพลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ค่าความเป็นกรด - เบส ของน้ำทิ้ง

3. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับโดยใช้มอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น ไดแอลลิวไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นแคตไอออนิกมอนอเมอร์

ประโยชน์ในการประยุกต์ผลงานวิจัย

ผลจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงพาณิชย์. "สถานการณ์การส่งออกและนำเข้าสิ่งทอไทย" [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : **http://www.moc.go.th** 2547 สืบค้น 29 มีนาคม 2547.
2. เฉลิมชัย ศิรินันทวิทยา. "สร้างแบรนด์แฟชั่นให้เปรี้ยงปร้าง อิงเทรนท์แต่อย่าทิ้งจุดยืน." **กรุงเทพธุรกิจ.** (16 กุมภาพันธ์ 2547) : 5.
3. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม.** กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.
4. อังคณา ตุลย์ไตรรัตน์. "การกำจัดสีจากน้ำทิ้งในโรงงานโดยใช้ UV/H_2O_2. **Colourway.** 1 (November - December 1998) : 35.
5. Baker, J.P., Blanch. H.W. and Prausnitz, J.M. "Swelling Properties of Acrylamide - Based Ampholytic Hydrogels : Comparison of Experiment with Theory" **Polymer.** 36, 5 (1995) : 1061 - 1069.
6. Baouab, M.H.V. et al. "Immobilization of Residual Dyes onto Ion-Exchange Cellulosic Materials" **Journal of Applied Polymer Science.** 77, (2000) : 171 - 183.
7. Chern, J-M. and Wu C-Y. "Desorption of Dye From Activated Carbon Beds: Effects of Temperature, pH. And Alcohol" **Water Research.** 35, 17 (2001) : 4159 - 4165.
8. Chiou, M-S., Ho, P-Y. and Li H-Y. "Adsorption of Anionic Dyes in Acid Solution Using Chemically Cross-Linked Chitosan Beads" **Dyes and Pigments.** 60, (2004) : 69 - 84.
9. Chu, W. "Dye Removal from Textile Dye Wastewater Using Recycled Alum Sludge" **Water Research.** 35, 13 (2001) : 3147 - 3152.
10. Duran, S., Solpan, D. and Gunen, O. "Synthesis and Characterization of Acrylamide - Acrylic Acid Hydrogels and Adsorption of Some Textile Dyes" **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B.** 151, (1999) : 196 - 199.
11. Garachared, F. et al. "Emulsifier - Free Emulsion Copolymerization of Styrene with Two Different Amino - Containing Cationic Monomers, I. Kinetic Studies" **Journal of Applied Polymer Science.** 65, (1997) : 2315 - 2330.
12. Giles, C.H., Greczer, J.J. and Nakhwa, S.N. "Studies in Adsorption. Part XIII. Anomalous (Endothermic) Effects of Adsorption on Inorganic Solids" **Journal of Chemical Society.** 93, (1961) : 93 - 95.

13. Hattori, M., Sudol, E.D. and El-Aasser M.S. "Highly Crosslinked Polymer Particles by Dispersion Polymerization" **Journal of Applied Polymer Science.** 50, (1993) : 2027 - 2034.

14. Kim, Tak-Hyun. et al. "Decolorization of Disperse and Reactive Dye Solution Using Ferric Chloride" **Desalinaton.** 161, (2004) : 49 - 58.

15. Kim, S.J., Yoon, S. and Kim, S.I. "Synthesis and Characteristics of Interpenetrating Polymer Network Hydrogels Composed of Alginate and Poly(diallydimethyl ammonium chloride)" **Journal of Applied Polymer Science.** 91 (2004) : 3705 - 3709.

16. Kozhanov, V.A. et al., **Kim Technol Vody.** 13 (1991) p. 534 Cited in Papic, S.; Koprivance, N.; and Loncaric, B.A. "Removal of Reactive Dyes from Wastewater Using Fe (III) Coagulant" **Journal of Society of Dyes and Colourists.** 116, (November 2000) : 15 - 20.

17. Laszlo, J.A. "Preparing on Ion Exchange Resin from Sugarcane Bagasse to Remove Reactive Dye from Waste water" **Textile Chemist and Colourist.** 28, 5 (May, 1996) : 13 - 17.

18. Mohamed, H. et al. "Immobilization Residual Dye onto Ion - Exchange Cellulosic Materials" **Journal of Applied Polymer Science.** 77, (2000) : 171 - 183.

19. Kydd, R.A. and Dunham, A.P.C. "The Infrared Spectra and Structure of Acetamide and Acrylamide" **Journal of Molecular Structure.** 69, (1980) : 79 - 88.

20. Nemerow, N. L. **Treatment of Textile Wastes Industrial Water Pollution : Origins, Characteristics and Treatment.** New York : Addison - Wesley, 1978.

21. Netpradit, S., Thiravetyan, P. and Towprayoon, S. "Application of Waste Metal Hydroxide Sludge for Adsorption of Azo Reactive Dyes" **Water Research.** 97, 4 (2003) : 763 - 772.

22. Papic, S., Koprivance, N., and Loncaric, B.A. "Removal of Reactive Dyes from Wastewater Using Fe (III) Coagulant" **Journal of Society of Dyes and Colourists.** 116, (November 2000) : 15 - 20.

23. Ren, J. et al., **Radiat Phys Chem.** 62 (2001) p.277 Cited in Kim S.J., Yoon, S.G. and Kim, S.I. "Synthesis ana Characteristic of Interpenetrating Polymer Network Hydrogels Composed of Alginate and Poly(diallydimethylammonium chloride)" **Journal of Applied Polymer Science.** 91, (2004) : 3705 - 3709.

24. Schulz, G., Fiebig, D., and Herlinger, H. **Textilveredlung.** 23 (1998) p. 445 Cited in Papic, S.; Koprivance, N.; and Loncaric, B.A. "Removal of Reactive Dyes from Wastewater Using Fe (III) Coagulant" **Journal of Society of Dyes and Colourists.** 116, (November 2000) : 15 - 20.

25. Song, B.K. et al. "Dispersion Polymerization of Acrylamide with Quaternary Ammonium Cationic Comonomer in Aqueous Solution" **Journal of Applied Polymer Science.** 87, (2003) : 1101 - 1108.

26. Strick, A.F., and Perkins W.S. **Textile Chemist and Colourist.** 27 (1995) p.11 Cited in Papic, S.; Koprivance, N.; and Loncaric, B.A. "Removal of Reactive Dyes from Wastewater Using Fe (III) Coagulant" **Journal of Society of Dyes and Colourists.** 116, (November 2000) : 15 - 20.

27. Uygur, A. "An Overview of Oxidation and Photooxidation Decolorisation Treatments of Textile Waste Waters" **Journal of the Society of Dyes and Colourists.** 113, (July/August, 1997) : 211 - 217.

28. Vaidyanathan, T., Joshi, S.B., and Pai, K.P. "Environmental Aspects of Textile Colouration" **Tech Monoter.** (November - December 1998) : 9 - 16.

29. van Streun, K.H. et al. "Synthesis, Purification and Characterization of Cationic Lalices Produced by the Emulsion Copolymerization of Styrene with 3-(Methacrylamidinopropyl) trimethyl ammonium chloride" **European Polymer Journal.** 27, 9 (1991) : 931 - 938.

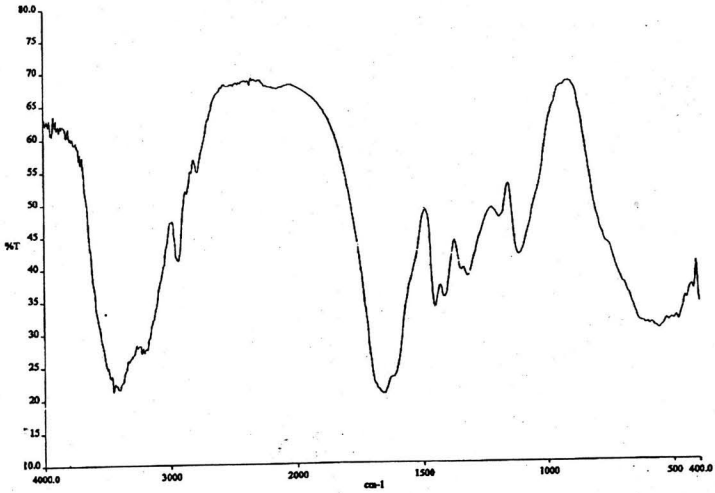
30. Walken, G.M. and Weatherley, L.R. "Kinetics of Acid Dye Adsorption" **Water Research.** 33, 8 (1997) : 1895 - 1899.

31. Xu, Z. et al. "Emulsifier - Free Emulsion Copolymerization of Styrene and Butyl Acrylate with Cationic Comonomer" **Journal of Applied Polymer Science.** 66, (1997) : 1 - 9.

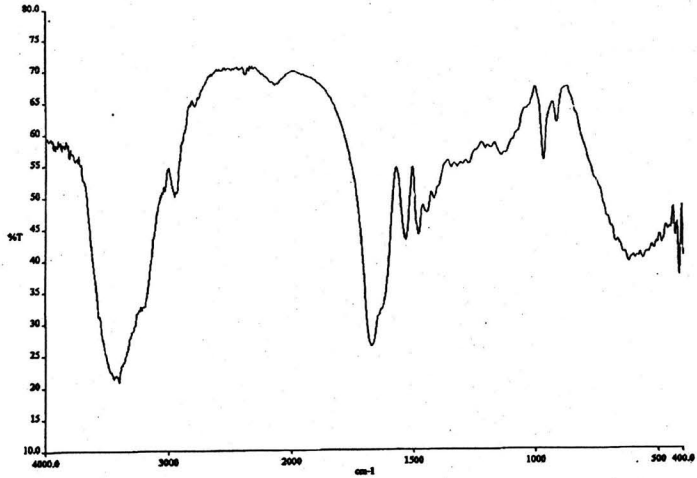
32. Zemaitaitience, R.J., Zliobaite, E. and Klimaviciute, R. "The Role of Anionic Substances in Removal of Textile Dyes from Solutions Using Cationic Flocculant" **Colloids and Surfaces A : Physicochemical Engineering Aspects.** 214, (2003) : 37 - 47.

ภาคผนวก ก
อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ดูดซับ

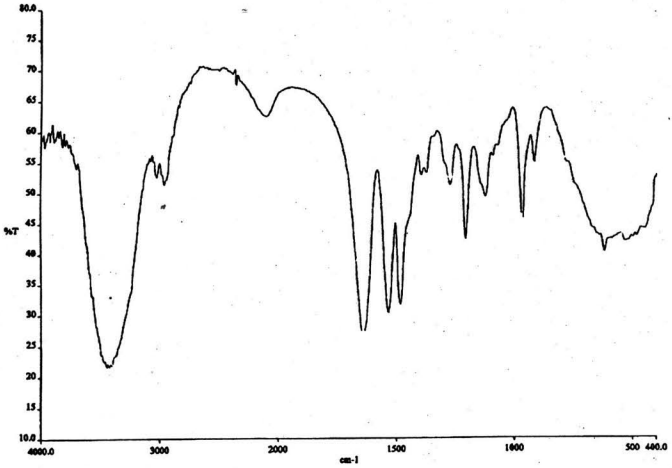
1. การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ดูดซับที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 1.0 : 0

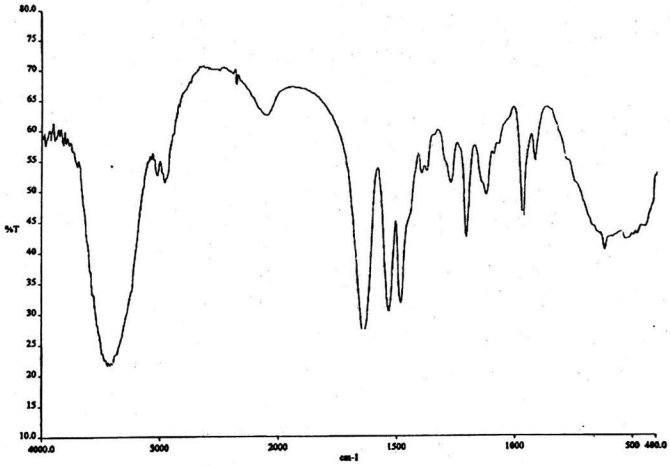


ภาพประกอบที่ 2 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ดูดซับที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

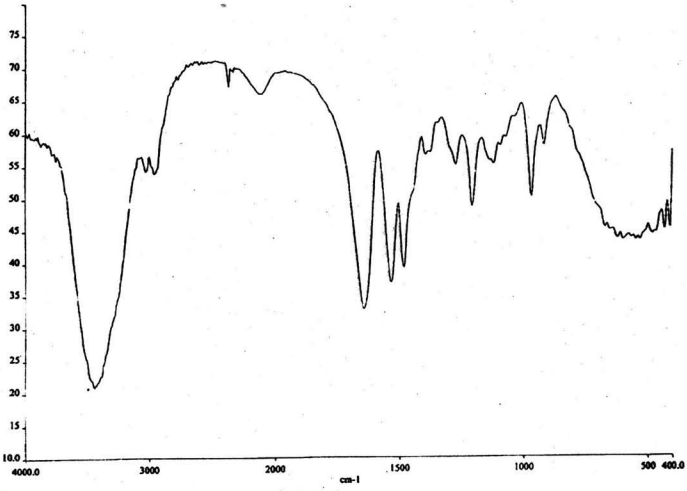


ภาพประกอบที่ 3 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ดูดซับที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0 : 1.0

2. การเตรียมพอลิเมอร์ดูดซับโดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ดูดซับที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณร้อยละ 4



ภาพประกอบที่ 5 อินฟราเรดสเปกสเปกตรัมของพอลิเมอร์ดูดซับที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณร้อยละ 8

ภาคผนวก ข
การพองตัวของพอลิเมอร์

1. การพองตัวของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 1 น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กันหลังเกิดการพองตัว

AM : MAPTAC	น้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักพอลิเมอร์หลังพองตัว (กรัม)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
1 : 0	1.00	8.66	8.65	8.65	8.65	0.006
0.8 : 0.2	1.46	16.04	16.03	16.04	16.04	0.006
0.6 : 0.4	1.18	16.04	16.04	16.04	16.04	0
0.4 : 0.6	1.00	14.35	14.34	14.35	14.35	0.006
0.2 : 0.8	1.29	20.53	20.52	20.53	20.53	0.006
0.2 : 0.4	1.04	10.46	10.46	10.46	10.46	0
0 : 1	1.03	22.95	22.95	22.95	22.95	0

ตารางที่ 2 อัตราการพองตัวของพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนระหว่าง AM : MAPTAC	อัตราส่วนการพองตัว
1.0 : 0	1 : 7.65
0.8 : 0.2	1 : 9.98
0.6 : 0.4	1 : 12.59
0.4 : 0.6	1 : 13.25
0.2 : 0.8	1 : 14.91
0.2 : 0.4	1 : 9.05
0 : 1.0	1 : 21.28

2. อิทธิพลของสารเชื่อมขวางที่มีต่อสมบัติการพองตัวของพอลิเมอร์

ตารางที่ 3 น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ กันหลังเกิดการพองตัว

ปริมาณของ MBAM (ร้อยละ)	น้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักพอลิเมอร์หลังพองตัว (กรัม)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
4	1.03	22.95	22.96	22.95	22.95	0.006
6	1.03	23.54	23.52	23.50	22.52	0.02
8	1.06	17.13	17.12	17.12	17.12	0.006
10	1.08	11.72	11.71	11.72	11.72	0.006
20	1.07	6.69	6.69	6.68	6.69	0.006

ตารางที่ 4 อัตราการพองตัวของพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้สารเชื่อมขวางในปริมาณต่าง ๆ กัน

ปริมาณสารเชื่อมขวาง (ร้อยละโดยน้ำหนักของ MAPTAC)	อัตราส่วนการพองตัว
4	1 : 21.28
6	1 : 20.86
8	1 : 15.15
10	1 : 9.85
20	1 : 5.25

ภาคผนวก ค
การดูดซับสีรีแอกทีฟของพอลิเมอร์

1. การดูดสีรีแอกทีฟของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟ (สีแดง)

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟ : Co (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
93.8	93.8	93.8	93.8	0

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ (สีแดง) (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

AM : MAPTAC	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1 : 0	112.5	112.5	112.5	112.5	0
0.8 : 0.2	9.5	10.0	10.0	9.8	0.29
0.6 : 0.4	8.0	8.5	9.0	8.5	0.50
0.4 : 0.6	6.0	6.0	6.0	6.0	0
0.2 : 0.8	8.0	9.5	8.5	8.7	0.76
0.2 : 0.4	11.0	11.0	11.0	11.0	0
0 : 1	67.5	67.5	67.5	67.5	0

ตารางที่ 3 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟ (สีแดง) โดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

AM : MAPTAC	Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
1 : 0	93.8	82.5	1.00	30	0.3
0.8 : 0.2	93.8	9.8	1.46	30	1.7
0.6 : 0.4	93.8	8.5	1.18	30	2.2
0.4 : 0.6	93.8	6.0	1.00	30	2.6
0.2 : 0.8	93.8	9.0	1.00	30	2.5
0.2 : 0.4	93.8	11.0	1.04	30	2.4
0 : 1	93.8	67.5	1.16	30	0.7

ตารางที่ 4 ปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนระหว่าง AM : MAPTAC	ปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ (มิลลิกรัม/กรัม)
1.0 : 0	0.3
0.8 : 0.2	1.7
0.6 : 0.4	2.2
0.4 : 0.6	2.6
0.2 : 0.4	2.4
0.2 : 0.8	2.5
0 : 1.0	0.7

2. ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 5 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

AM : MAPTAC	ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)
1 : 0	2.8	0.3
0.8 : 0.2	2.8	1.7
0.6 : 0.4	2.8	2.2
0.4 : 0.6	2.8	2.6
0.2 : 0.8	2.8	2.5
0.2 : 0.4	2.8	2.4
0 : 1	2.8	0.7

ตารางที่ 6 ร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างอะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริลามิโด) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนระหว่าง AM : MAPTAC	ร้อยละของปริมาณสีรีแอกทีฟที่ถูกกำจัด
1.0 : 0	10.7
0.8 : 0.2	60.7
0.6 : 0.4	78.6
0.4 : 0.6	92.9
0.2 : 0.4	85.7
0.2 : 0.8	89.3
0 : 1.0	24.3

ภาคผนวก ง
สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงของพอลิเมอร์

1. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

1.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง

ลำดับที่	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟ : Co (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	172.5	175.0	175.0	174.2	1.44
2	363.3	363.0	363.7	363.3	0.35
3	590.5	592.2	592.4	591.7	1.04
4	788.2	789.2	788.4	788.6	0.53
5	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	0
6	1248.5	1248.2	1248.3	1248.3	0.15
7	1554.2	1554.2	1554.2	1554.2	0

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
174.2	6.2	7.0	7.0	6.7	0.46
363.3	8.0	8.5	9.0	8.5	0.50
591.7	8.6	8.6	8.6	8.6	0
788.6	8.8	8.8	8.8	8.8	0
1000.0	11.2	12.0	12.0	11.7	0.46
1248.3	13.5	14.2	14.2	14.0	0.40
1554.2	17.2	17.2	17.2	17.2	0

ตารางที่ 3 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
174.2	6.7	1.02	30	4.9
363.3	8.5	1.01	30	10.5
591.7	8.6	1.02	30	17.2
788.6	8.8	1.04	30	22.5
1000.0	11.7	1.05	30	28.2
1248.3	14.0	1.07	30	34.6
1554.2	17.2	1.07	30	43.3

1.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

ตารางที่ 4 ปริมาณสีแดงที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
5.2	4.9	94.2
10.9	10.5	96.3
17.8	17.2	96.6
23.7	22.5	94.9
30.0	28.2	94.0
37.4	34.6	92.5
46.6	43.3	92.9

2. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

2.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
174.2	8.2	8.2	8.0	8.1	0.12
363.3	12.2	13.0	13.0	12.7	0.46
591.7	25.2	26.0	26.0	25.7	0.46
788.6	31.2	32.0	32.0	31.7	0.46
1000.0	34.5	35.0	35.0	34.8	0.29
1248.3	36.0	36.0	36.0	36.0	0
1554.2	46.0	46.0	46.0	46.0	0

ตารางที่ 6 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
174.2	8.1	1.07	30	4.7
363.3	12.7	1.09	30	9.6
591.7	25.7	1.04	30	16.3
788.6	31.7	1.02	30	21.7
1000.0	34.8	1.06	30	27.3
1248.3	36.0	1.12	30	32.5
1554.2	46.0	1.04	30	43.5

2.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

ตารางที่ 7 ปริมาณสีแดงที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์ และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
5.2	8.1	90.4
10.9	12.7	88.1
17.8	25.7	91.6
23.7	31.7	91.6
30.0	34.8	91.0
37.4	36.0	86.8
46.6	46.0	93.3

3. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

3.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
174.2	9.2	9.2	9.2	9.2	0
363.3	20.2	20.2	20.2	20.2	0
591.7	28.5	28.5	29.0	28.7	0.29
788.6	31.6	31.6	31.6	31.6	0
1000.0	34.5	34.5	34.5	34.5	0
1248.3	37.5	37.5	37.5	37.5	0
1554.2	42.5	45.0	45.0	44.2	1.44

ตารางที่ 9 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
174.2	9.2	1.10	30	4.5
363.3	20.2	1.05	30	9.8
591.7	28.7	1.15	30	14.7
788.6	31.6	1.10	30	20.6
1000.0	34.5	1.10	30	26.3
1248.3	37.5	1.07	30	33.9
1554.2	44.2	1.15	30	39.4

3.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

ตารางที่ 10 ปริมาณสีแดงที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
5.2	4.5	86.5
10.9	9.8	89.9
17.8	14.7	82.6
23.7	20.6	86.9
30.0	26.3	87.7
37.4	33.9	90.6
46.6	39.4	84.5

4. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

4.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีแดง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
174.2	39.2	41.7	45.0	42.0	2.91
363.3	67.5	66.4	69.6	67.8	1.63
591.7	70.8	75.0	75.0	73.6	2.42
788.6	85.0	91.7	91.7	89.5	3.87
1000.0	120.0	120.8	118.2	120.0	1.33
1248.3	151.0	150.0	148.0	150.0	1.53
1554.2	280.0	280.0	280.0	280.0	0

ตารางที่ 12 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
174.2	42.0	1.04	30	3.8
363.3	67.8	1.04	30	8.5
591.7	73.6	1.13	30	13.8
788.6	89.5	1.03	30	20.4
1000.0	120.0	1.05	30	25.1
1248.3	150.0	1.10	30	29.9
1554.2	280.0	1.11	30	34.4

4.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

ตารางที่ 13 ปริมาณสีแดงที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
5.2	3.8	73.1
10.9	8.5	78.0
17.8	13.8	77.5
23.7	20.4	86.1
30.0	25.1	83.7
37.4	29.9	80.0
46.6	34.4	73.8

ภาคผนวก จ
สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินของพอลิเมอร์

1. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

1.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
199.2	10.8	10.8	10.8	10.8	0
423.3	16.2	16.2	17.0	16.5	0.46
625.0	17.0	17.0	17.0	17.0	0
860.5	20.8	21.5	21.5	21.3	0.40
1083.3	27.0	27.0	27.0	27.0	0
1376.7	28.4	28.6	29.3	28.8	0.47
1635.5	30.5	30.5	30.5	30.5	0

ตารางที่ 2 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
199.2	10.8	1.07	30	5.3
423.3	16.5	1.06	30	11.5
625.0	17.0	1.04	30	17.5
860.5	21.3	1.07	30	23.5
1083.3	27.0	1.03	30	23.7
1376.7	28.8	1.07	30	37.8
1635.5	30.5	1.08	30	44.6

1.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

ตารางที่ 3 ปริมาณสีน้ำเงินที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.0	5.3	88.3
12.7	11.5	90.6
18.8	17.5	93.1
25.8	23.5	91.1
32.5	23.7	72.9
41.3	37.8	91.5
49.1	44.6	90.6

2. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

2.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดน้ำเงิน

ลำดับที่	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟ : Co (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	199.4	199	199.2	199.2	0.20
2	423.0	423.8	423.2	423.3	0.42
3	625.0	625.0	625.0	625.0	0
4	860.2	861.2	860.2	860.5	0.58
5	1085.0	1082.0	1083.0	1083.3	1.53
6	1377.0	1376.3	1376.8	1376.7	0.36
7	1634.8	1636.2	1635.6	1635.5	0.70

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
199.2	17.0	17.8	17.8	17.5	0.46
423.3	18.0	18.6	18.3	18.3	0.30
625.0	29.0	29.5	30.5	29.7	0.76
860.5	152.5	160.0	160.0	157.5	4.33
1083.3	272.6	272.3	273.0	272.6	0.35
1376.7	350.2	349.2	348.2	349.2	1.00
1635.5	520.8	520.8	520.8	520.8	0

ตารางที่ 6 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
199.2	17.5	1.07	30	5.1
423.3	18.3	1.08	30	11.3
625.0	29.7	1.03	30	17.3
860.5	157.5	1.08	30	19.5
1083.3	272.6	1.06	30	22.9
1376.7	349.2	1.07	30	28.8
1635.5	520.8	1.06	30	31.5

2.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

ตารางที่ 7 ปริมาณสีที่น้ำเงินถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.0	5.1	85.0
12.7	11.3	89.0
18.8	17.3	92.0
25.8	19.5	75.6
32.5	22.9	70.5
41.3	28.8	69.7
49.1	31.5	64.2

3. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

3.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดน้ำเงิน (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
199.2	20.8	20.8	20.8	20.8	0
423.3	25.5	26.5	26.5	26.2	0.58
625.0	28.5	29.2	28.5	28.7	0.40
860.5	30.2	30.2	30.2	30.2	0
1083.3	31.0	31.0	31.0	31.0	0
1376.7	32.5	32.5	32.5	32.5	0
1635.5	42.0	42.0	42.0	42.0	0

ตารางที่ 9 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
199.2	20.8	1.12	30	4.8
423.3	26.2	1.10	30	10.8
625.0	28.7	1.15	30	15.6
860.5	30.2	1.08	30	23.1
1083.3	31.0	1.08	30	29.2
1376.7	32.5	1.07	30	37.7
1635.5	42.0	1.04	30	46.0

3.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

ตารางที่ 10 ปริมาณสีน้ำเงินที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.0	4.8	80.0
12.7	10.8	85.0
18.8	15.6	83.0
25.8	23.1	89.5
32.5	29.2	89.8
41.3	37.7	91.3
49.1	46.0	93.7

4. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

4.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงิน (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
199.2	115.2	114.5	114.4	114.7	0.44
423.3	369.2	369.2	369.2	369.2	0
625.0	466.7	466.7	466.7	466.7	0
860.5	727.0	726.4	726.8	726.7	0.31
1083.3	770.8	770.8	770.8	770.8	0
1376.7	852.5	852.6	852.4	852.8	0.49
1635.5	1257.8	1258.6	1258.5	1258.3	0.44

ตารางที่ 12 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีน้ำเงินโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
199.2	114.7	1.09	30	2.3
423.3	369.2	1.12	30	1.4
625.0	466.7	1.10	30	4.3
860.5	727.7	1.02	30	3.9
1083.3	770.8	1.13	30	8.3
1376.7	852.8	1.09	30	14.4
1635.5	1258.3	1.07	30	10.6

4.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

ตารางที่ 13 ปริมาณสีน้ำเงินที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.0	2.3	38.3
12.7	1.4	11.0
18.8	4.3	22.9
25.8	3.9	15.1
32.5	8.3	25.5
41.3	14.4	34.9
49.1	10.6	21.6

ภาคผนวก ฉ
สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองของพอลิเมอร์

1. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

1.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง

ลำดับที่	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีแอกทีฟ : Co (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	219.0	219.3	219.4	219.2	0.21
2	422.5	425.0	425.0	424.2	1.44
3	612.5	612.5	612.5	612.5	0
4	905.8	905.4	906.2	905.8	0.40
5	1243.0	1244.0	1245.0	1244.0	1.00
6	1429.0	1428.3	1428.6	1428.6	0.35
7	1774.5	1772.4	1773.0	1773.3	1.08

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
219.2	10.2	10.2	10.2	10.2	0
424.2	17.0	17.0	17.0	17.0	0
612.5	20.0	21.0	21.0	20.7	0.58
905.8	22.4	22.4	22.4	22.4	0
1244.0	24.0	24.2	24.2	24.1	0.12
1428.6	33.6	33.6	33.6	33.6	0
1773.3	42.0	43.5	43.5	43.0	0.87

ตารางที่ 3 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
219.2	10.2	1.07	30	5.9
424.2	17.0	1.10	30	11.1
612.5	20.7	1.03	30	17.3
905.8	22.4	1.05	30	25.2
1244.0	24.1	1.03	30	35.5
1428.6	33.6	1.05	30	40.1
1773.3	430	1.04	30	49.9

1.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

ตารางที่ 4 ปริมาณสีเหลืองที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.4 : 0.6

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.6	5.9	89.4
12.7	11.1	87.4
18.4	17.3	94.0
27.2	25.2	92.6
37.3	35.5	95.2
42.9	40.1	93.5
53.2	49.9	93.8

2. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีแดงของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

2.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
219.2	24.0	24.5	24.5	24.3	0.29
424.2	28.5	29.0	29.0	28.8	0.29
612.5	30.0	30.0	30.0	30.0	0
905.8	49.0	49.0	49.0	49.0	0
1244.0	72.1	72.1	72.1	72.1	0
1428.6	97.5	101.0	101.0	99.8	2.02
1773.3	130.1	129.0	130.2	129.8	0.67

ตารางที่ 6 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
219.2	24.3	1.07	30	5.5
424.2	28.8	1.06	30	11.2
612.5	30.0	1.07	30	16.3
905.8	49.0	1.05	30	24.5
1244.0	72.1	1.05	30	33.5
1428.6	99.8	1.03	30	38.7
1773.3	129.8	1.03	30	47.8

2.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

ตารางที่ 7 ปริมาณสีเหลืองที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.6	5.5	83.3
12.7	11.2	88.2
18.4	16.3	88.6
27.2	24.5	90.1
37.3	33.5	89.8
42.9	38.7	90.2
53.2	47.8	89.8

3. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

3.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
219.2	25.8	26.2	26.2	26.1	0.23
424.2	32.1	31.9	32.4	32.1	0.25
612.5	37.8	38.2	38.2	38.1	0.23
905.8	45.0	46.0	46.0	45.7	0.58
1244.0	53.3	53.3	53.3	53.3	0
1428.6	61.5	60.8	60.5	60.9	0.51
1773.3	91.7	89.6	89.6	90.3	1.21

ตารางที่ 9 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.8

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
219.2	26.1	1.02	30	5.7
424.2	32.1	1.05	30	11.2
612.5	38.1	1.04	30	16.6
905.8	45.7	1.10	30	23.5
1244.0	53.3	1.08	30	33.8
1428.6	60.9	1.06	30	38.7
1773.3	90.3	1.02	30	49.5

3.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0.2 : 0.4

ตารางที่ 10 ปริมาณสีเหลืองที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.6	5.7	86.4
12.7	11.2	89.8
18.4	16.6	90.2
27.2	23.5	86.4
37.3	33.8	90.6
42.9	38.7	90.2
53.2	49.5	93.0

4. การดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองของพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

4.1 สมดุลของการดูดซับ

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลือง (ความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีรีแอกทีฟ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายสีรีแอกทีฟ : Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)				SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
219.2	45.0	42.0	42.0	43.0	1.73
424.2	175.4	174.5	175.7	175.2	0.62
612.5	405.8	405.8	405.8	405.8	0
905.8	710.3	711.4	710.5	710.7	0.59
1244.0	907.2	906.4	906.5	906.7	0.44
1428.6	1025.0	1025.0	1025.0	1025.0	0
1773.3	1099.3	1100.4	1100.0	1100.0	0.56

ตารางที่ 12 สมดุลการดูดซับสีรีแอกทีฟชนิดสีเหลืองโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

Co (มิลลิกรัม/ลิตร)	Ce (มิลลิกรัม/ลิตร)	W (กรัม)	V (มิลลิลิตร)	qe (มิลลิกรัม/กรัม)
219.2	43.0	1.09	30	4.8
424.2	175.2	1.08	30	6.9
612.5	405.8	1.06	30	5.9
905.8	710.7	1.10	30	5.3
1244.0	906.7	1.08	30	9.4
1428.6	1025.0	1.08	30	11.2
1773.3	1100.0	1.05	30	19.2

4.2 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

ตารางที่ 13 ปริมาณสีเหลืองที่ถูกกำจัดโดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้อะคริลาไมด์และ 3-(เมทาคริโลอิล อะมิโน) โพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 0 : 1

ปริมาณสีเริ่มต้น (มิลลิกรัม)	ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)	ร้อยละของปริมาณสีที่ถูกกำจัด
6.6	4.8	72.7
12.7	6.9	54.3
18.4	5.9	32.1
27.2	5.3	19.5
37.3	9.4	25.2
42.9	11.2	26.1
53.2	19.2	36.1

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม
วัน เดือน ปี เกิด	20 กรกฎาคม 2507
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานครฯ
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน (2525 - 2528) การศึกษาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ - เคมี)
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (2528 - 2531) การศึกษามหาบัณฑิต (เคมี)
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยมหิดล (2536 - 2539) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)
ปริญญาเอก	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2544 - 2547) วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)
ประวัติการทำงาน	
	2532 - ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ